

# **AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DECORRENTES DA INTRODUÇÃO DE UMA VIA BUS EM AMBIENTE URBANO**

**BÁRBARA CAMPELO DA SILVA PEREIRA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO**

---

Orientador: Professor Doutor José Pedro Maia Pimentel Tavares

FEVEREIRO DE 2017

## **Mestrado Integrado em Engenharia Civil 2016/2017**

Departamento de Engenharia Civil

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

### *Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus pais

*A vida é Mara*

Gabriela Pugliesi





## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço ao meu orientador, Professor Doutor José Pedro Maia Pimentel Tavares, por toda a sua disponibilidade e acompanhamento, incitando a noção de espírito crítico e fomentando a capacidade de superação.

À Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e à Universidade do Estado do Rio de Janeiro pela educação e aventuras que me proporcionaram e pela oportunidade de conviver com excelentes colegas e professores.

À Câmara Municipal do Porto por facultar todos os dados indispensáveis à realização desta dissertação.

Um agradecimento especial aos meus pais e irmã por serem o meu porto seguro e por me apoiarem ao longo deste percurso, acreditando sempre em mim. Sem vocês nada disto seria possível.

Aos meus avós que tão bem me acompanham, por todos os ensinamentos transmitidos e, muitas vezes sem saberem, por me ajudarem a ultrapassar os momentos mais difíceis.

A todos os meus tios e primos, dos mais pequenos aos mais graúdos, por todos os momentos de partilha e felicidade.

À Mila por toda a ajuda e por me acompanhar desde pequenina sempre com uma palavra amiga.

Ao meu namorado Miguel por toda a motivação e suporte, por me ensinar a enfrentar todos os dias com um sorriso e pelo apoio fundamental ao longo de todos estes anos.

Aos meus amigos por toda a amizade e paciência, por estarem sempre presentes e por nunca me deixarem desistir dos meus sonhos.

Obrigada.



## RESUMO

Com a necessidade cada vez mais premente de combater os efeitos negativos relacionados com o congestionamento rodoviário, o estudo de medidas que possam melhorar esses indicadores torna-se essencial. Com efeito, a promoção do uso do transporte público é uma das medidas que mais contribui para a sustentabilidade dos meios de transporte.

A implementação de corredores de uso exclusivo a transportes públicos - vias BUS, é uma das medidas de prioridade mais testadas e que, dada a limitação do espaço disponível para o sistema de transportes em meio urbano, obriga não só à avaliação da sua necessidade bem como a um cuidado desenho por forma a minimizar os impactos na circulação automóvel, principalmente devido à redução da capacidade.

Assim, a avaliação desses impactos deve considerar todas as alterações previstas às condições operacionais do sistema de transportes que circula na infraestrutura viária. A metodologia adotada tem por base a comparação de variáveis operacionais para o cenário “antes” e “depois” do corredor, analisando, para além deste, toda uma área de influência onde as principais alterações se farão sentir.

A presente dissertação analisa a introdução de uma via BUS na Rua da Constituição, na cidade do Porto. A avaliação foi realizada através do *software* de microsimulação *PTV Vissim* e pressupôs a modelação dos cenários “antes” e “depois”. Neste sentido, foram adotadas quatro soluções possíveis para o cenário “depois”, que se diferenciaram pela adoção de diferentes comprimentos de *setback*.

Os resultados obtidos revelaram que, para além de ser extremamente importante uma análise alargada a toda a rede envolvente, a adoção da medida de introdução da via BUS pode não ser suficiente para alcançar os objetivos, uma vez que ao beneficiar o transporte público poder-se-á estar a prejudicar significativamente o tráfego automóvel, levando a um maior congestionamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Redes urbanas, Transporte público, Vias exclusivas (via BUS), Tráfego, Setback.



## **ABSTRACT**

With an increasingly need to fight the negative impacts of road congestion, the study of measures that improve operational conditions becomes essential. Priority schemes for public transport are one of the measures that contributes the most to sustainability of transports.

The implementation of dedicated lanes for public transport - BUS lanes, is one of the most tested priority measures. Given the space available for the urban transport system a careful design should be made in order to minimize the impacts on general traffic, mainly due to capacity lost.

An assessment should therefore take into account all the measures adopted for the operational conditions of the transport system on the road infrastructure. The proposed methodology is based on a set of operational variables for the "before" and "after" bus lane scenarios, analyzing not only this corridor but an entire area of influence.

The present work studies the introduction of a BUS lane in Rua da Constituição, located in the city of Porto. The evaluation was done through the use of the microsimulation software PTV Vissim based on the modeling of the "before" and "after" scenarios. In this way, four possible solutions were adopted for the "after" scenario, which differentiated by their setback length.

The results highlighted the importance of considering a study area of analysis and that the introduction of a BUS lane may not be sufficient to reach the main objective. In fact, they showed the deterioration for overall operational conditions, even with the proved benefit to public transport.

**KEY-WORDS:** Urban traffic environment, Public transport, Exclusive lanes (BUS lanes), Traffic, Setback.



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>I</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>V</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 ENQUADRAMENTO GERAL .....	1
1.2 OBJETIVOS .....	1
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	2
<b>2 CARACTERIZAÇÃO DAS VIAS BUS .....</b>	<b>3</b>
2.1. INTRODUÇÃO.....	3
2.2. ÂMBITO.....	3
2.3. MEDIDAS DE APOIO DO TRANSPORTE PÚBLICO.....	3
2.3.1. MEDIDAS DE APOIO DIRETAS .....	4
2.3.2. MEDIDAS DE APOIO INDIRETAS.....	4
2.3.3. MEDIDAS DE PRIORIDADE AO TRANSPORTE PÚBLICO .....	5
2.4 VIAS BUS .....	6
2.4.1. VIA BUS WITH-FLOW (NO SENTIDO DA CORRENTE DE TRÁFEGO).....	8
2.4.1.1. Vantagens .....	10
2.4.1.2. Desvantagens.....	10
2.4.2. VIA BUS CONTRA-FLOW (NO SENTIDO CONTRÁRIO À CORRENTE DE TRÁFEGO).....	11
2.4.2.1. Vantagens .....	12
2.4.2.2. Desvantagens.....	12
2.4.3. IMPLEMENTAÇÃO .....	13
2.4.4. UTILIZAÇÃO.....	15
2.5. SÍNTESE.....	18
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>19</b>
3.1. INTRODUÇÃO.....	19
3.2. METODOLOGIA .....	19
3.2.1. DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	20
3.2.2. SELEÇÃO DO MODELO DE TRÁFEGO .....	21
3.2.3. DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS.....	24
3.2.3.1 Recolha de dados.....	24
3.2.3.2. Caracterização da Oferta .....	25

3.2.3.3. Caracterização da Procura .....	25
3.2.3.4. Calibração e Validação .....	26
3.2.4. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS .....	27
3.2.4.1. Definição do âmbito da análise .....	27
3.2.4.2. Indicadores de desempenho .....	28
3.2.5. DECISÃO .....	29
3.3. SÍNTESE .....	29
<b>4 CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>31</b>
4.1. INTRODUÇÃO .....	31
4.2. MODELO DE TRÁFEGO .....	31
4.3. DEFINIÇÃO DA ZONA DE ESTUDO .....	33
4.4. CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL .....	35
4.4.1. GEOMETRIA DAS VIAS .....	35
4.4.2. TRÁFEGO NA REDE VIÁRIA .....	37
4.4.3. TRANSPORTES PÚBLICOS .....	39
4.4.4. SINALIZAÇÃO LUMINOSA .....	41
4.5. SÍNTESE .....	43
<b>5 SOLUÇÃO PROPOSTA E ANÁLISE DE RESULTADOS ..</b>	<b>45</b>
5.1. INTRODUÇÃO .....	45
5.2. SOLUÇÃO PROPOSTA .....	45
5.3. ANÁLISE DE RESULTADOS .....	47
5.3.1. ANÁLISE GLOBAL DA ÁREA EM ESTUDO .....	47
5.3.2. ANÁLISE DO CORREDOR .....	53
5.4. SÍNTESE .....	57
<b>6 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....</b>	<b>59</b>
6.1. APRECIÇÃO DO ESTUDO DESENVOLVIDO .....	59
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61
<b>ANEXOS .....</b>	<b>63</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. – Via BUS with-flow ( <i>National Association of City Transportation Officials</i> ) .....	9
Figura 2.2. – Características de uma via BUS with-flow (Neves J., 2006) .....	9
Figura 2.3. – Via BUS contra-flow ( <i>National Association of City Transportation Officials</i> ) .....	11
Figura 2.4. – Características de uma via BUS contra-flow (OTAN. 1976) .....	12
Figura 2.5. – Vias BUS à direita do sentido de circulação .....	14
Figura 2.6. – Vias BUS à esquerda do sentido de circulação .....	14
Figura 2.7. – Vias BUS ao centro da faixa de rodagem .....	15
Figura 2.8. – Vias BUS horária .....	16
Figura 2.9. – Corredor aproximação a semáforos (Ontario, 2016) .....	16
Figura 2.10. – Utilização da via BUS por outros veículos .....	17
Figura 2.11 – Esquema “pré-verde” (OTAN, 1976) .....	17
 Figura 3.1– Metodologia (Neves J., (2006) .....	20
Figura 3.2– Gráfico comparativo entre os diversos tipos de análise (adaptado de Dowling, 2002) .....	22
Figura 3.3 – Importância das propriedades dos modelos de microssimulação (adaptado de SMARTTEST, 1997) .....	23
Figura 3.4– Processo de conversão de dados (adaptado de Neves J.,2006) .....	25
Figura 3.5– Processo de avaliação (adaptado de Neves J.,2006) .....	27
 Figura 4.1 – Esquema do modelo de car-following ( <i>Wiedemann, 1974</i> ) .....	32
Figura 4.2 – Esquema do Modelo de mudança de via ( <i>Wiedemann, 1974</i> ) .....	32
Figura 4.3 – Esquema do modelo de comportamento lateral dentro da mesma via ( <i>Wiedemann, 1974</i> ) .....	33
Figura 4.4 – Enquadramento da zona de estudo no mapa da cidade do Porto (Fonte: <i>Google Maps</i> )	33
Figura 4.5 – Zona de estudo com a localização dos “contadores” (Fonte: <i>Google Maps</i> ) .....	34
Figura 4.6 – Área em estudo e localização das vias BUS (Fonte: <i>Google Maps</i> ) .....	35
Figura 4.7 – Área em estudo no programa <i>PTV Vissim</i> .....	36
Figura 4.8 – Área em estudo com indicação dos centróides (Fonte: <i>Google Maps</i> ) .....	37
Figura 4.9 – Autocarros <i>standard</i> , semi-articulado e de dois pisos, respetivamente (Fonte: STCP)....	39
Figura 4.10 – Área em estudo com indicação da localização das paragens STCP (Fonte: <i>Google Maps</i> ) .....	41
Figura 4.11 – Área em estudo com indicação dos grupos de sinalização luminosa solicitados (Fonte: <i>Google Maps</i> ) .....	41
Figura 4.12 – Geometria do cruzamento da Rua Damião de Góis com a Rua de Antero de Quental (Fonte: CMP) .....	42
Figura 4.13 – Geometria do cruzamento da Rua Damião de Góis com a Rua de Antero de Quental no programa <i>PTV Vissim</i> .....	42

Figura 4.14 – Representação do diagrama do ciclo do cruzamento da Rua Damião de Góis com a Rua de Antero de Quental (Fonte: CMP) .....	43
Figura 4.15 – Representação do diagrama do ciclo do cruzamento da Rua Damião de Góis com a Rua de Antero no programa <i>PTV Vissim</i> .....	43
Figura 5.1 - Área em estudo no programa <i>PTV Vissim</i> com a localização da nova via BUS .....	46
Figura 5.2 – Identificação dos cruzamentos onde é necessária a utilização de <i>setback</i> ( <i>PTV Vissim</i> )	46
Figura 5.3 – Identificação do comprimento do <i>setback</i> em ambos os cruzamentos (solução geral)....	47
Figura 5.4 – Gráfico representativo dos atrasos médios (s) para cada cenário na hora de ponta da manhã (08h30 – 10h00) .....	48
Figura 5.5 – Gráfico representativo das velocidades médias (km/h) para cada cenário na hora de ponta da manhã (08h30 – 10h00) .....	48
Figura 5.6 – Gráfico representativo dos atrasos médios (s) para cada cenário na hora de ponta da tarde (18h30 – 20h00) .....	49
Figura 5.7 – Gráfico representativo das velocidades médias (km/h) para cada cenário na hora de ponta da tarde (18h30 – 20h00) .....	49
Figura 5.8 – Gráfico representativo dos atrasos médios (s) por linha para cada cenário na hora de ponta da manhã (08h30 – 10h00) .....	52
Figura 5.9 – Gráfico representativo dos atrasos médios (s) por linha para cada cenário na hora de ponta da tarde (18h30 – 20h00) .....	53
Figura 5.10 – Identificação do corredor em análise ( <i>PTV Vissim</i> ) .....	54
Figura 5.11 – Gráfico representativo do tempo médio de percurso (s) do corredor na hora de ponta da manhã (08h30 – 10h00) .....	54
Figura 5.12 – Gráfico representativo do tempo médio de percurso (s) do corredor na hora de ponta da tarde (18h30 – 20h00) .....	55
Figura 5.13 – Gráfico representativo do tempo médio de percurso (s) do corredor na hora de ponta da manhã – transportes públicos (08h30 – 10h00) .....	56
Figura 5.14 – Gráfico representativo do tempo médio de percurso (s) do corredor na hora de ponta da tarde – transportes públicos (18h30 – 20h00) .....	57

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1- Medidas de prioridade para sistemas de transportes públicos ( <i>Transit Capacity and Quality of Service Manual</i> , 2013) .....	5
Tabela 4.1. – Caracterização das ruas pertencentes à zona de estudo .....	36
Tabela 4.2. – Matriz O/D do período entre as 08h15 e as 08h30 (Fonte: CMP).....	38
Tabela 4.3. – Procura geral de tráfego na área em estudo entre as 08h30 e as 10h00 .....	38
Tabela 4.4. – Procura geral de tráfego na área em estudo entre as 18h30 e as 20h00 .....	38
Tabela 4.5. – Características do material circulante .....	39
Tabela 4.6. – Linhas STCP que afetam a rede (Fonte: STCP).....	40
Tabela 5.1 – Quadro comparativo dos cenários “antes” e “depois” para a hora de ponta da manhã (08h30 – 10h00) .....	48
Tabela 5.2 – Quadro comparativo dos cenários “antes” e “depois” para a hora de ponta da tarde (18h30 – 20h00).....	49
Tabela 5.3 – Quadro comparativo dos atrasos médios nos cenários “antes”/”depois” de cada linha de autocarro para a hora de ponta da manhã (08h30 – 10h00) .....	50
Tabela 5.4 – Quadro síntese comparativo dos atrasos médios nos cenários “antes”/”depois” de cada linha de autocarro para a hora de ponta da tarde (18h30 – 20h00).....	51
Tabela 5.5 – Quadro comparativo dos cenários “antes” e “depois” para a hora de ponta da manhã (08h30–10h00) .....	54
Tabela 5.6 – Quadro comparativo dos cenários “antes” e “depois” para a hora de ponta da tarde (18h30 – 20h00).....	54
Tabela 5.7 – Quadro comparativo dos cenários “antes” e “depois” para a hora de ponta da manhã – transportes públicos (08h30 – 10h00).....	55
Tabela 5.8 – Quadro comparativo dos cenários “antes” e “depois” para a hora de ponta da tarde – transportes públicos (18h30 – 20h00).....	56



## **ABREVIATURAS**

CMP – Câmara Municipal do Porto

O/D – Origem/Destino

STCP – Sociedade de Transportes Coletivos do Porto, AS

TP – Transportes Públicos

VCI – Via de Cintura Interna



# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 ENQUADRAMENTO GERAL

Atualmente, uma das maiores preocupações a nível económico, ambiental e social, tem que ver com a sustentabilidade dos meios de transporte.

O uso crescente do automóvel como meio de transporte tem implicação direta no aumento do congestionamento, sinistralidade, tempo de percurso, poluição atmosférica e sonora e consumo de combustível em áreas urbanas, tornando evidente a necessidade de uma mudança de mentalidades.

Por forma a solucionar estes problemas, é necessário promover o uso do transporte público, tanto rodoviário como ferroviário, de maneira a reduzir os efeitos nefastos referidos anteriormente.

A adoção de medidas de apoio ao transporte coletivo pode-se enquadrar em medidas diretas e indiretas. As primeiras visam tornar perceptível ao utilizador as vantagens, em termos de rapidez e eficiência, que estes meios de transporte oferecem face ao transporte individual. Já as medidas indiretas têm como principal objetivo tornar menos atrativos os modos alternativos, aumentando a atratividade dos transportes públicos.

Estas medidas pretendem reduzir os atrasos sofridos pelas viaturas e o custo de operação, aumentando a fiabilidade do sistema.

### 1.2 OBJETIVOS

Pretende-se com este trabalho desenvolver uma metodologia que permita avaliar o impacto operacional decorrente da implementação de vias BUS em ambiente urbano. Para o efeito, foi analisada uma zona da cidade do Porto num troço da Rua da Constituição situado entre a Praça de Marquês de Pombal e a Rua Antero de Quental.

A metodologia adotada assentou em alguns princípios base tais como:

- Estudo das diferentes medidas de prioridade ao Transporte Público, com ênfase nas vias BUS;
- Avaliação dos cenários de “Antes” e “Depois” da via Bus, comparando, entre outros fatores, o tempo de viagem em cada situação;
- Cuidado desenho e quantificação das intervenções necessárias por forma a implementar a solução proposta.

A solução implicará uma profunda alteração quer na sinalização vertical, quer na horizontal. No entanto, é de realçar que a nível da infraestrutura viária não se irão registar modificações significativas.

Para o efeito, irá ser utilizado o programa de microssimulação PTV Vissim que permite simular, com exatidão, os padrões de tráfego representando, num único modelo, todos os utilizadores de uma determinada rede.

### **1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos, que estão organizados pela mesma ordem em que o problema foi abordado.

Em primeiro lugar, foi feita uma introdução ao problema e apresentados os objetivos propostos do trabalho, de forma sucinta.

Como base para o desenvolvimento do projeto, foi feita uma caracterização das vias BUS, tendo sido abordadas as medidas de apoio ao transporte público diretas e indiretas.

Alargando a introdução feita inicialmente, no capítulo 3 foram estudados todos os tópicos relevantes para a metodologia de desenvolvimento que foi utilizada para a avaliação dos impactos esperados.

Tendo por base a análise dos problemas a solucionar, o capítulo 4 pretende descrever de forma exhaustiva a análise que foi feita sobre a zona de estudo. Começou-se com a apresentação do *software* de microssimulação que foi utilizado, passando-se à caracterização da situação atual dessa mesma zona.

No capítulo 5 foram apresentadas as diferentes soluções propostas acompanhadas por uma análise aos resultados das simulações efetuadas.

Por último, é feita uma conclusão do projeto, das melhorias observadas e, por outro lado, de que forma o trabalho pode ser continuado e melhorado.



# 2

## **CARACTERIZAÇÃO DAS VIAS BUS**

### **2.1. INTRODUÇÃO**

Neste capítulo é apresentado o enquadramento teórico que suporta a realização desta dissertação. São analisadas algumas medidas de apoio ao transporte público no que concerne a questões operacionais, focando-se em aspetos ligados às vias BUS.

### **2.2. ÂMBITO**

Atualmente e como já referido, devido ao crescimento económico e expansão de áreas urbanas, tem-se registado um aumento do uso de transporte automóvel individual. Consequentemente, tal facto levou a um aumento do congestionamento, poluição atmosférica e sonora, sinistralidade rodoviária e consumo de combustível que, impreterivelmente, conduzem a uma redução da qualidade de vida (Costa, A., et al, 2008).

No sentido de travar os efeitos nocivos provocados pelos congestionamentos das cidades, as autarquias e autoridades locais vêm-se obrigadas a atuar sobre o problema. Existem duas principais abordagens possíveis:

- Aumento da capacidade das vias, construindo e/ou retificando as infraestruturas rodoviárias;
- Aumento da atratividade dos transportes públicos, através de medidas de apoio.

A primeira abordagem tem vindo a ter cada vez menos uso. Primeiramente, vai contra o principal objetivo de aliviar o congestionamento de tráfego nas zonas afetadas uma vez que promove o uso do automóvel particular. Em segundo lugar, pela sua exigência de mobilização de fortes investimentos, resulta num forte impacto económico, ambiental e social.

É, por isso, urgente tomar medidas que garantam a sustentabilidade do sistema de transportes, levando a uma melhoria das condições de operação que seja viável economicamente.

Nesta dissertação serão tratados preferencialmente os transportes rodoviários de passageiros (autocarros), não fazendo, por isso, referência aos autocarros guiados por carril e aos meios ferroviários como o metro ligeiro ou pesado, o comboio e os sistemas de monocarril.

### **2.3. MEDIDAS DE APOIO DO TRANSPORTE PÚBLICO**

Existem dois tipos de medidas que podem ser tomadas em consideração, dividindo-se em medidas diretas e medidas indiretas.

Com as medidas diretas pretende-se melhorar as características da oferta dos transportes públicos, enquanto que com as medidas indiretas o objetivo passa por tornar menos atrativos os meios de transporte alternativo, em particular o transporte individual.

Nos subpontos seguintes realiza-se uma descrição sucinta de ambas as medidas de apoio ao TP (Costa, A., et al, 2008), dando especial atenção às medidas de prioridade no ponto 2.3.3..

#### 2.3.1. MEDIDAS DE APOIO DIRETAS

- **Sistema tarifário e bilhética:** devido aos avanços da tecnologia e consequente desenvolvimento de aplicações nesta área, é possível adotar regimes tarifários diferenciados mais adaptados às necessidades dos passageiros tornando “mais cómoda a sua utilização e carregamento”. Permite, também, criar uma base de dados do movimento dos passageiros, sendo esta uma poderosa ferramenta no auxílio à organização da exploração do transporte;
- **Rede de transporte público e sua exploração:** a criação de uma cobertura espacial e temporal da rede e de produtos dirigidos a necessidades específicas tem uma significativa influência na atratividade destes meios de transporte. De igual modo, a melhoria da qualidade e localização das paragens e a garantia de pontualidade e regularidade das viaturas também conduzem a um aumento da procura;
- **Prioridade aos transportes públicos:** por forma a tornar o TP verdadeiramente competitivo face ao transporte Individual, é necessário aumentar a velocidade de operação destes veículos. Para tal, deve-se oferecer “canais próprios de circulação” e reduzir as demoras impostas às viaturas, através de um “tratamento preferencial” que se pode dividir em dois tipos de medidas: as passivas (limitam-se a reorganizarem as fases dos sinais luminosos, não havendo deteção das viaturas) e as ativas (criação de uma fase especial para o avanço dos autocarros);
- **Frota e pessoal:** a segurança, conforto e limpeza dos veículos, qualidade de atendimento e suavidade na condução são aspetos relevantes na conquista de novos utilizadores. A “presença efetiva de pessoal de vigilância” é igualmente relevante, uma vez que garantem a segurança pessoal dos passageiros;
- **Informação:** uma verdadeira mudança de atitude das pessoas face ao transporte público passa pela disponibilização do maior número de informação de qualidade, fiabilidade e relevância possível acerca do sistema de transporte. O modo como é feita a “promoção deste produto” também pode influenciar as escolhas dos cidadãos.

#### 2.3.2. MEDIDAS DE APOIO INDIRETAS

- **Taxas e impostos aplicados aos automóveis:** tornar a aquisição e/ou utilização dos automóveis mais dispendiosa, através de impostos e/ou taxas na compra e uso dos veículos, na aquisição de combustíveis, e no uso da infraestrutura de transporte (tarifação urbana e tarifas de estacionamento) tem, certamente, influência positiva na procura pelo TP;
- **Gestão de tráfego:** as medidas de “limitação da circulação e/ou estacionamento do transporte individual” são um instrumento fulcral na tentativa de inverter a tendência atual de redução do número de passageiros no transporte público. A proibição de circulação em determinadas zonas ou ruas, permanente ou periodicamente e os “condicionalismos impostos à oferta de estacionamento” podem ser preponderantes na escolha do modo de transporte das deslocações.

## 2.3.3. MEDIDAS DE PRIORIDADE AO TRANSPORTE PÚBLICO

A aplicabilidade das medidas de prioridade está inteiramente relacionada com as condições operacionais e físicas de cada local em análise. Na Tabela 2.1 é possível observar as principais medidas utilizadas, bem como as vantagens e desvantagens associadas a cada uma delas, segundo o *Transit Capacity and Quality of Service Manual* (2013).

Tabela 2.1- Medidas de prioridade para sistemas de transportes públicos (*Transit Capacity and Quality of Service Manual*, 2013)

MEDIDA	VANTAGENS	DESVANTAGENS
<b>Prioridade ao TP nas interseções com sinalização luminosa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diminui atrasos e número de paragens dos TP</li> <li>▪ Melhora a operacionalidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Risco de interferir no esquema presente de sinalização</li> <li>▪ Risco de diminuir o nível de serviço da interseção se esta está próxima da capacidade</li> <li>▪ Pode aumentar os atrasos nas ruas transversais causando impactes secundários no tráfego circundante</li> </ul>
<b>Corredores de Aproximação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduz atrasos nos sinais luminosos</li> <li>▪ Autocarros podem escapar ao tráfego parado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Via BUS tem que ser mais longa que o fim da fila de espera</li> <li>▪ Necessária sinalização para viragem à direita</li> <li>▪ Reduz o tempo de verde disponível para o restante tráfego na interseção</li> <li>▪ Condutores dos autocarros devem estar avisados para eventuais curtos períodos de tempo de verde disponíveis</li> </ul>
<b>“Ilhas de Embarque”</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumenta a velocidade de circulação dos autocarros, permitindo-lhes usar as vias da esquerda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Requer, pelo menos, duas vias no mesmo sentido do autocarro e significantes diferenças de velocidades entre elas</li> <li>▪ Requer especial atenção nas perdas de prioridade do tráfego em geral</li> <li>▪ Segurança dos peões deve ser cuidadosamente analisada</li> </ul>

<b>Restrições ao estacionamento</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Aumenta a velocidade de circulação dos autocarros devido à ausência de manobras de estacionamento na via</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pode causar inconvenientes para os residentes e comércios locais</li><li>▪ Requer supervisão por parte das autoridades</li></ul>
<b>Recolocação das paragens BUS</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Usa a sinalização existente</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pode aumentar a distância de viagem dos passageiros</li></ul>
<b>Isonção de restrição de viragem</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Aumenta a velocidade de circulação dos autocarros eliminando a necessidade de desvios para evitar restrições de viragem</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pode diminuir o nível de serviço da interseção</li><li>▪ Segurança terá de ser cuidadosamente analisada</li></ul>
<b>Vias exclusivas BUS</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Aumenta a velocidade comercial, reduzindo fontes de atrasos</li><li>▪ Melhora a confiabilidade</li><li>▪ Amplia a visibilidade das vantagens do TP face ao tráfego ligeiro.</li><li>▪ Aumenta a segurança dos passageiros</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Redução da capacidade das vias e/ou do estacionamento existente</li><li>▪ Requer fiscalização permanente</li></ul>

Como foi referido anteriormente, a cada medida vêm associadas vantagens e desvantagens, o que implica um profundo e cuidado estudo no sentido de aplicar a medida que melhor se adequa às operacionalidades e restrições de cada local. Esta dissertação irá centrar-se na implementação de vias exclusivas para transporte coletivo rodoviário – Vias BUS, sendo o ponto seguinte inteiramente dedicado a esta medida de prioridade ao transporte público.

## **2.4 VIAS BUS**

Como o próprio nome indica, tratam-se de vias destinadas à utilização exclusiva por veículos de transporte público rodoviário, podendo, por vezes, também ser utilizada por táxis, motociclos, bicicletas e veículos de emergência.

De acordo com o mencionado em 2.3.3., e citando Martins (1975), os principais objetivos com a sua implementação são:

- Redução do tempo de viagem;
- Melhoria da confiabilidade do TP;
- Aumento da segurança dos passageiros;
- Redução dos custos de operação;
- Ampliação da visibilidade das vantagens do TP face ao tráfego ligeiro.

Tal como veremos adiante, apesar de existirem vários tipos de vias BUS, podemos sintetizar algumas vantagens e desvantagens que estão intrínsecas a todos os tipos de utilização destas vias em ambiente urbano (Gregório, B., 2009):

### **Vantagens:**

- **Velocidade:** uma vez que se trata de uma via de circulação exclusiva ao TP, há um impacto significativo na velocidade comercial do veículo, traduzindo-se numa redução do tempo de viagem de aproximadamente 10%;
- **Pontualidade:** associada ao tempo de viagem e ao tempo de espera em cada paragem BUS, esta característica é um fator importante na qualificação de uma rede de TP, estando dependente do nível de congestionamento em zonas exteriores aos corredores BUS;
- **Frequência:** com a diminuição dos tempos referidos no ponto anterior, é possível aumentar a frequência das linhas de TP mantendo a mão de obra e os recursos, associados a uma utilização mais comum das vias BUS;
- **Detrimento do uso do transporte individual:** ao ser penalizada pela redução de capacidade, a viatura particular tem a perceção de que o autocarro circula em condições mais vantajosas, principalmente em hora de ponta.

### **Desvantagens:**

- **Funcionalidade do Sistema Global:** este ponto retrata uma das maiores dificuldades de aplicação desta medida, devido ao elevado número de variáveis a ter em conta na ponderação da aplicação de uma Via BUS. Temos como exemplos a acessibilidade dos passageiros para vias à esquerda, a necessidade de partilha do corredor com o tráfego de viragem à direita e a inércia derivada das atividades diárias realizadas ao longo da via (cargas e descargas, Estacionamento e acessos a garagens);
- **Falta de Espaço Físico:** por norma, os congestionamentos verificam-se em vias estreitas onde, praticamente, não há opções alternativas para os veículos ligeiros, quanto mais para a implementação de uma via exclusiva;
- **Reajustamento das Linhas de TP:** tendencialmente, as companhias de transportes públicos irão concentrar as suas linhas no percurso que foi melhorado, reduzindo a cobertura da rede;
- **Fiscalização:** principalmente no período inicial de exploração serão necessários elevados custos em fiscalização, por forma a combater eventuais utilizações abusivas.

Como vemos, através das vantagens e desvantagens referidas anteriormente, a implementação de uma Via BUS requer uma exaustiva análise de todos os dados referentes à zona de estudo e possíveis impactos daí decorrentes. Para uma correta avaliação é necessário recolher dados referentes à geometria da via (comprimentos, larguras, número de vias) e o tráfego existente (fluxos de tráfego de autocarros e demais veículos, tempos de viagem, máximo comprimento da fila de espera, possíveis desvios). Dependendo do detalhe pretendido na avaliação, também poderão ser necessários dados acerca de taxas de acidentes, percurso pedonais, entre outros.

De facto, a especificidade de cada caso torna difícil o estabelecimento de regras ou padrões pré-definidos, sendo, por isso, pouco consensual a preferência por esta medida. Assim, por forma a restringir esta dificuldade, é essencial uma boa avaliação das condições operacionais estando ciente das características de cada medida de apoio ao transporte público existentes.

No sentido de estudar a aplicabilidade de corredores BUS na cidade de Londres, Allen (1973) aponta alguns propósitos que devem ser alcançados após a implementação de Vias BUS:

- Dar significativo avanço aos transportes públicos;
- Não reduzir demasiado a fluidez do tráfego ou causar congestionamentos secundários;
- Oferecer um rácio custo/benefício coerente para a população;
- Ser de fácil execução;

- Frequência e ocupação dos autocarros deverão ser elevados para provocar impacto nos restantes condutores;
- Possibilidade de proibir Cargas e Descargas;
- Não aumentar a propensão a acidentes;
- Minimizar os impactes ambientais.

Através destes critérios, reflete-se uma clara preocupação em que o objetivo fundamental da via BUS seja atingido com o máximo benefício, minimizando o impacto no tráfego circundante.

Nos próximos subpontos são abordadas as principais características de cada tipo de via BUS, conhecimento essencial para uma correta avaliação de cada solução.

#### 2.4.1. VIA BUS WITH-FLOW (NO SENTIDO DA CORRENTE DE TRÁFEGO)

Neste tipo de vias BUS, os autocarros circulam no mesmo sentido do restante tráfego (Figura 2.1). Geralmente, a via reservada é a mais próxima do passeio, embora, em condições especiais se possa admitir que a via BUS ocupe a via central, sendo necessária uma análise especial à localização das paragens.

Como podemos observar através da Figura 2.2, as principais características de uma via BUS with-flow são (Costa, A., et al, 2008):

- Não se utilizam limitadores físicos para delimitar as vias BUS junto ao passeio, bastando fazê-lo com as marcas longitudinais previstas no Regulamento de Sinalização do Trânsito, complementada com a sinalização vertical recomendada para este caso, colocada em local que permita a sua fácil leitura. Por vezes, para realçar a existência destas vias, procede-se à sua pintura, diferenciando-a do espaço restante da faixa de rodagem;
- Ao aproximarem-se de um cruzamento devem terminar com suficiente antecedência para facilitar as viragens à direita no cruzamento (*setback*) e não reduzir excessivamente a capacidade do ramo de entrada do cruzamento. Como valor de referência a interrupção da via BUS será feita a uma distância da linha de paragem do ramo de entrada que corresponda a cerca de 2 a 3 metros por cada segundo de verde;
- Antes do início da via BUS deve existir uma transição gradual que facilite a convergência das correntes de tráfego.

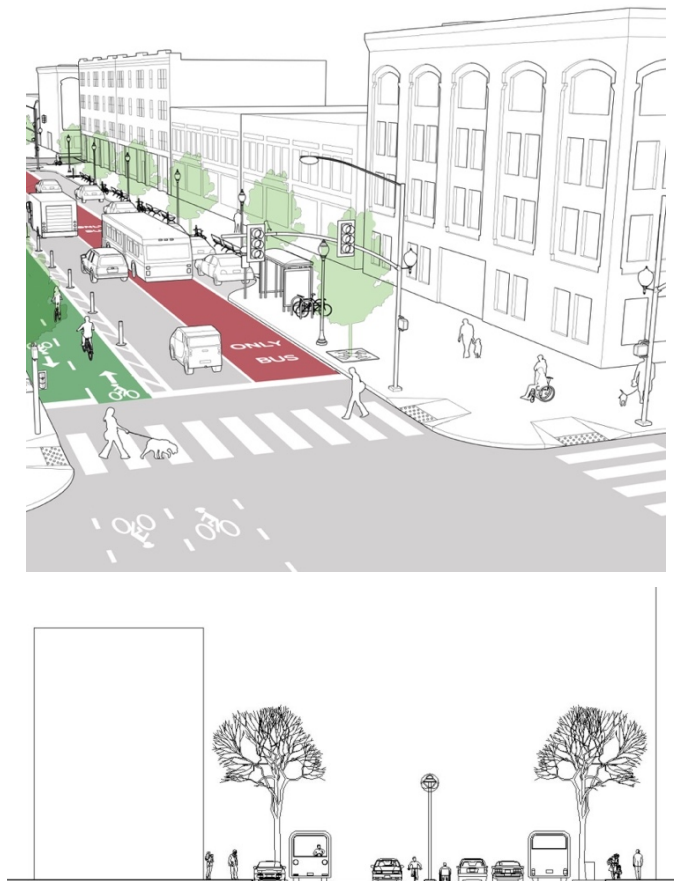


Figura 2.1. – Via BUS with-flow (National Association of City Transportation Officials)

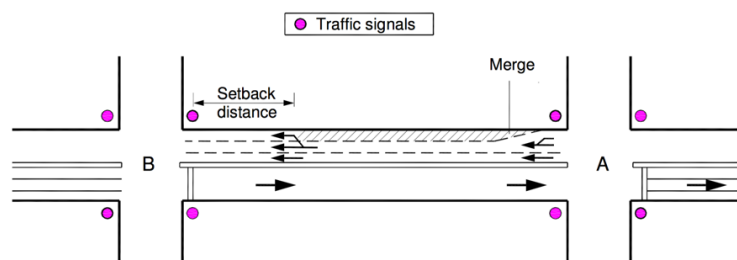


Figura 2.2. – Características de uma via BUS with-flow (Neves J., 2006)

As vias BUS with-flow podem ser desenvolvidas com diferentes configurações de operação (Danaher, 2010):

- Uma via em cada sentido de deslocamento que opera ao mesmo tempo durante um determinado período de tempo;
- Uma via no sentido da corrente de tráfego que só opera na hora de ponta, com uma outra via no sentido oposto que opera na hora de ponta desse sentido;
- Uma única via que opera no sentido desejado durante um período de tempo e que pode ser invertida para operar no sentido oposto (também conhecida como via reversível).

#### 2.4.1.1. Vantagens

Como exemplo clássico das medidas de prioridade dos transportes públicos, os benefícios resultantes da implementação de uma via BUS irão se refletir em melhorias das suas condições operacionais.

Os principais benefícios serão ao nível de (Neves J., 2006):

- **Redução do tempo de percurso:** as vias BUS funcionam como um dispositivo que permite aos autocarros evitar filas de espera (“*queue jump*”) numa zona congestionada com o restante tráfego. Apesar disso, estes corredores permitem um aumento da velocidade de circulação dos autocarros reduzindo o seu tempo de percurso. Para o restante tráfego também se poderão refletir alguns benefícios ao nível do tempo de percurso, mesmo que nunca comparável com o efeito nos autocarros. Com a diminuição de conflitos entre veículos e desnecessidade de ultrapassagem quando o autocarro para na paragem, a qualidade de circulação aumenta;
- **Operacionalidade melhorada:** a existência da via exclusiva faz com que o tempo de percurso dos autocarros deixe de depender do congestionamento local, melhorando a operacionalidade do serviço. O conforto no interior dos veículos também será beneficiado uma vez que deixa de haver a necessidade de tantas acelerações e desacelerações bruscas. Adicionalmente, a companhia de TP também beneficia diretamente devido ao facto de necessitar de menos veículos para completar o mesmo horário;
- **Ganhos energéticos e ambientais:** a redução do tempo de percurso e do comum “para-arranca” têm como consequência a diminuição do consumo de combustível que está diretamente relacionada com as questões ambientais, sendo um fator importante para a decisão final;
- **Aumento da Transferência Modal:** com a melhoria das condições de funcionamento dos transportes públicos é espectável que haja uma maior procura por este meio de deslocação. A redução de congestionamentos conduzirá a melhores prestações da rede viária, com melhores escoamentos e menores tempos de espera. A via BUS trará benefícios visíveis à rede pública com o serviço melhorado e a atratividade ao passageiro ampliada.

#### 2.4.1.2. Desvantagens

Por outro lado, as desvantagens associadas às vias BUS são mais gravosas para o tráfego, causando maior impacto nas zonas adjacentes, podendo deteriorar as condições de operação na rede viária. Deverão ser cuidadosamente analisados as potenciais desvantagens:

- **Aumento do tempo de viagem para o tráfego normal:** as vias BUS implicam uma redução de capacidade, o que leva a um aumento dos níveis de congestionamento do tráfego que consequentemente conduzem a filas de espera mais longas junto das interseções sinalizadas. As consequências poderão ser mais severas se as filas de espera atingirem cruzamentos anteriores, levando a atrasos noutras zonas. O nível destes impactos será tanto maior quanto maior for o nível de tráfego na área;
- **Diminuição do nível de serviço na área circundante:** A reafectação do tráfego ao redor da zona onde a via será implementada poderá aumentar ainda mais os atrasos previamente existentes. A dimensão deste reajuste dependerá do nível de tráfego existente e das alternativas que facilitarão o escoamento dos veículos;
- **Segurança:** no caso das vias with-flow este fator está relacionado com a existência de ilhas de embarque e com a nível de informação que os condutores e passageiros têm do novo esquema, especialmente numa fase inicial;
- **Mudanças a nível logístico:** por norma os corredores BUS são implementados através da remoção do estacionamento local, havendo, por isso, uma perda na oferta de locais para



estacionar na via pública. Também poderá afetar o acesso a comércio locais, garagens privadas e sítios de carga e descarga;

- **Custos de implementação:** embora seja dependente da situação já existente e do tipo de via a implementar os custos com o planeamento, projeto, construção civil e operação têm que ser tomados em conta. De salientar que os custos relacionados com a introdução de uma via BUS poderão ser substancialmente menores quando comparados com outras medidas de apoio ao transporte público.

#### 2.4.2. VIA BUS CONTRA-FLOW (NO SENTIDO CONTRÁRIO À CORRENTE DE TRÁFEGO)

As vias BUS contra-flow, ao contrário do tipo de vias apresentadas anteriormente, funcionam no sentido contrário ao do tráfego (Figura 2.3 e Figura 2.4).

O principal objetivo deste tipo de vias é evitar certas questões provocadas por vias de sentido único. Apesar de ambos os tipos (with-flow e contra-flow) potenciarem reduções no tempo de percurso, as vias BUS contra-flow adicionam vantagens ao encurtar distâncias do percurso dos autocarros quando comparados ao restante tráfego.

Com características semelhantes às vias BUS with-flow, estas vias devem ser (Costa, A., et al, 2008):

- Amplamente divulgadas, antecipadamente à data de entrada, quanto às alterações de circulação previstas prevenindo situações de risco futuras;
- Delimitadas por separadores físicos, embora seja usual a utilização da marca longitudinal apropriada, prevendo eventuais manobras evasivas por parte dos motoristas de autocarros;
- Alvo de especial atenção quanto à sinalização horizontal e vertical, para que todos os utentes da via (condutores dos automóveis, motoristas e peões) tenham comportamentos adequados à situação.



Figura 2.3. – Via BUS contra-flow (*National Association of City Transportation Officials*)

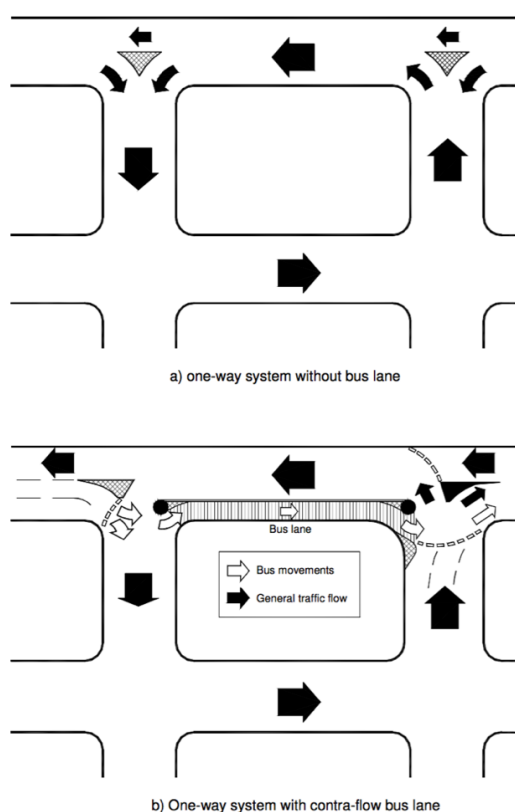


Figura 2.4. – Características de uma via BUS contra-flow (OTAN. 1976)

#### 2.4.2.1. Vantagens

As vantagens deste tipo de vias são muito semelhantes às anteriores (with-flow), embora hajam algumas que mereçam especial atenção:

- **Redução no tempo de percurso:** teoricamente, esta redução é mais evidente no caso das vias BUS contra-flow, pois permite encurtar a extensão das carreiras ao serem, normalmente, implementadas em ruas de sentido único. No tráfego normal também haverá redução de conflitos de paragens e veículos pesados lentos a circular. Simultaneamente, as distâncias percorridas pelos passageiros até à paragem BUS também poderão diminuir;
- **Compreensão pelo utilizador:** como a maioria das vias BUS contra sentido surgem da conversão de ruas de dois sentidos num único, o utilizador terá maior facilidade em assimilar esta mudança. A necessidade de vigilância para garantir o cumprimento das regras de circulação é menor que no caso anterior, pois são mais visíveis as ações de desrespeito.

#### 2.4.2.2. Desvantagens

As maiores desvantagens deste tipo de vias estão relacionadas com as mudanças que serão necessárias nas interseções a montante e jusante, podendo condicionar a capacidade de circulação do tráfego no sentido oposto. Os aspetos mais relevantes são:

- **Aumento do tempo de viagem para o tráfego normal:** a execução desta via levará a mudanças estruturais (conversão da via, introdução de sinais luminosos) e operacionais

(mudanças dos ciclos semaforicos, viragens permitidas, entre outras). Isto implica atrasos no restante tráfego, incluindo o TP que circula no sentido oposto à via BUS. Cria maior dificuldades na gestão de tráfego dos cruzamentos, nomeadamente prejudicando a formação de bandas de passagem (ondas verdes) nos sistemas de sinais luminosos coordenados;

- **Segurança:** esta questão depende mais da compreensão dos condutores do que da utilização da via em si. Uma parte essencial do projeto da linha deverá ser a introdução de sinais e ilhas de peões, uma vez que estes são mais vulneráveis. Para o tráfego pesado ou ligeiro poderão ser necessários alguns reajustes ao nível de sinalização que deverá minimizar a probabilidade de acidente;
- **Mudanças a nível logístico:** as operações de carga e descarga e o acesso aos edifícios tornam-se mais complicados neste tipo de vias, dado que haverá um horário de ponta em que os dois tipos de tráfego irão entrar em conflito. Por forma a amenizar estes efeitos poderá ser criada uma zona de paragem instantânea junto à linha de separação das duas vias que permita estacionamento somente para carga e descarga e que facilite o movimento de mercadoria perante a circulação dos autocarros;
- **Custos de implementação:** devido ao aparecimento de movimentos conflitantes que anteriormente não existiam, haverá necessidade de reajustar as interseções introduzindo sinais luminosos e sinalização vertical e/ou horizontal;

#### 2.4.3. IMPLEMENTAÇÃO

Para o correto traçado das vias BUS é necessário atingir um equilíbrio entre todos os utilizadores da via, de maneira a minimizar os efeitos negativos desta medida. A sua implementação depende de certas modificações, tais como:

- Substituir uma via existente por uma via BUS;
- Estreitar as vias já existentes de maneira a criar espaço para uma nova via;
- Alargar a rua para adicionar uma nova via;
- Restringir o estacionamento existente, parcial ou totalmente.

Por forma a potenciar a segurança e eficiência destas vias, o seu traçado deve ter em conta a manutenção das correntes de tráfego, a necessidade de garantir as viragens à direita do restante tráfego (*setback*), a segurança dos pedestres e ciclistas, entre outros.

Os efeitos resultantes desta medida irão melhorar as condições operacionais das linhas de transporte público afetadas (tempos de percurso, velocidades e confiabilidade) embora prejudique o restante tráfego. Quando se projeta uma via BUS é necessária uma caracterização adicional por forma a atenuar estes impactos negativos, sendo que há aspetos relacionados com o traçado e operacionalidade que devem ser considerados, em especial o lado da faixa de rodagem que a via irá ocupar e a necessidade de *setback*.

Relativamente ao primeiro ponto, podemos salientar três possibilidades:

- **À direita do sentido de circulação:** devido à sua simplicidade de execução são as mais usadas. Dependem, simplesmente, de alguma sinalização horizontal e vertical para entrar em funcionamento. Como principais vantagens podemos apontar a minimização dos impactos negativos para o restante tráfego, a praticabilidade de implementação e a possibilidade de ser usada para cargas e descargas (exceto na hora de ponta) e acesso a garagens. Por outro lado,

impede o estacionamento à direita e dificulta as viragens à direita e o acesso aos comércios locais (Figura 2.5);



Figura 2.5. – Vias BUS à direita do sentido de circulação (Fonte própria)

- **À esquerda do sentido de circulação:** as condições de implementação são mais complexas, não dependendo somente de sinalização. É necessário dotar o lado direito do corredor com ilhas de embarque para entrada, saída e permanência de passageiros nas paragens. O facto de o restante tráfego circular à direita da via BUS confere uma melhor percepção aos condutores de que a via existe e não deve ser compartilhada, sendo a utilização abusiva da via BUS maior quando esta se localiza à direita do sentido de circulação (Figura 2.6);



Figura 2.6. – Vias BUS à esquerda do sentido de circulação (Fonte: [expressandstar.com](http://expressandstar.com))

- **Ao centro da faixa de rodagem:** são uma forma ainda mais eficaz de isolar o tráfego dos autocarros, resultando melhor em vias extensas e amplas. Contudo, é necessária a construção de ilhas de embarque em ambos os lados da via BUS o que irá reduzir mais a capacidade da via e criar problemas ao nível da segurança dos passageiros (Figura 2.7).



Figura 2.7. – Vias BUS ao centro da faixa de rodagem (Fonte própria)

A necessidade de prever um *setback*, que consiste no recuo da via BUS nas proximidades de interseções por forma a facilitar as viragens à direita do restante tráfego, é um dos aspetos chave no dimensionamento uma vez que maximiza os benefícios deste tipo de medidas. Um significativo número de estudos (Oldfield et al, 1977; OTAN, 1976; Lunes and Willumsen, 1988; Jepson e Ferreira, 1999) dedicaram-se ao cálculo do comprimento ótimo do *setback* para determinadas condições de operações, o que pode marcar a diferença entre perdas ou ganhos de capacidade. Se, por um lado, o *setback* for demasiado curto, as filas de espera têm maior probabilidade de aparecer, por outro lado, se for muito longo pode levar a que os autocarros não passem no primeiro verde.

#### 2.4.4. UTILIZAÇÃO

Em relação à utilização das vias BUS, existem algumas particularidades que poderão influenciar o seu desempenho quando aplicadas. Apesar de não serem alvo de muita adesão em Portugal, podemos salientar as seguintes:

- **Corredores horários:** algumas vias BUS apenas são justificáveis em certos horários, dependendo a sua utilidade do nível de congestionamento e da procura do transporte público na zona. Podem, por isso, operar apenas nas horas de ponta sendo, nos restantes horários, utilizadas como vias comuns ou como parque de estacionamento (Figura 2.8). Este tipo de corredor não é muito utilizado em Portugal devido à inexistência de legislação prevista no Código da Estrada e necessidade de sinalização extra, alterações da sinalização luminosa e sistemas de vigilância para prevenir o desimpedimento da via aquando da reabertura ao transporte público. No caso das vias *contra-flow* esta adaptação é particularmente difícil, aumentando a dificuldade de perceção das mudanças e os riscos para a segurança (Figura 2.8);



Figura 2.8. – Vias BUS horária

- **Corredores de aproximação a semáforos:** favorecem a operacionalidade dos autocarros junto a interseções ou rotundas, normalmente dotadas de sinais luminosos, sendo que após a interseção o corredor deixa de existir. Possuem curtas extensões e situam-se a montante das interseções, podendo também suportar paragens BUS (Figura 2.9);

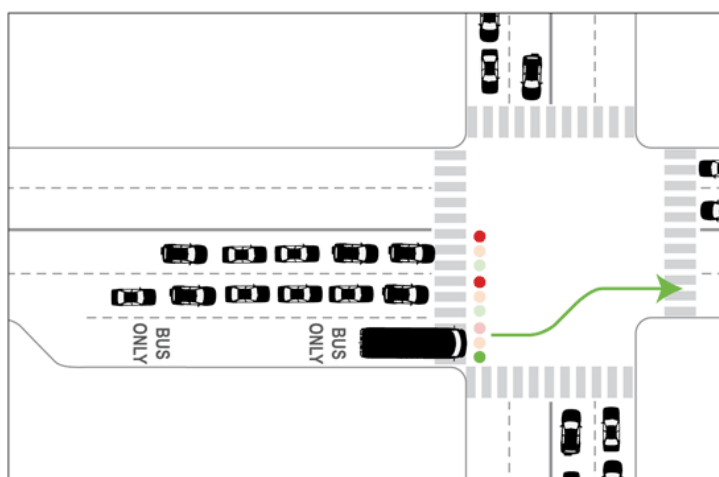


Figura 2.9. – Corredor aproximação a semáforos (Ontario, 2016)

- **Autorização de uso por outros veículos:** a definição do tipo de veículos que podem circular numa via BUS não é consensual, gerando conflito de interesses. Enquanto que o uso pelos veículos de emergência médica é bem aceite, o uso por parte dos táxis suscita algumas interrogações, sendo necessária uma autorização da entidade responsável. Em alguns países, como é o caso de Portugal, é possível a circulação de motociclos, ciclomotores e bicicletas, em alguns corredores (Figura 2.10);





Figura 2.10. – Utilização da via BUS por outros veículos

- **Sistemas inteligentes de ajuda aos transportes públicos:** segundo um estudo realizado em 1992 pela STCP, os autocarros são penalizados em cerca de 20% do seu tempo de operação devido a paragens nos sinais luminosos. Os sistemas inteligentes melhoram a operacionalidade dos TP, ao melhorarem a sua assiduidade e frequência. Têm vindo a ser implementados, com resultados muito positivos, sistemas de pré sinal (consiste na definição de um tempo de verde fixo para um semáforo a atuar separadamente, quer hajam veículos na via ou não) e de deteção de veículos (com detetores implementados na via e nos respetivos emissores nos autocarros, cuja passagem faz o semáforo ficar verde, evitando a paragem). Na Figura 2.11 está esquematizado um caso de pré sinal, onde se verifica que o *pre-signal* (semáforo que atua o verde exclusivamente para a via BUS) tem uma fase completamente distinta do *main-signal* (semáforos da interseção) e que possibilita mudanças de via, se necessárias, para os autocarros sem interferir com o tráfego normal que se encontra parado no *pre-signal* (Gregório, 2009) (Figura 2.11).

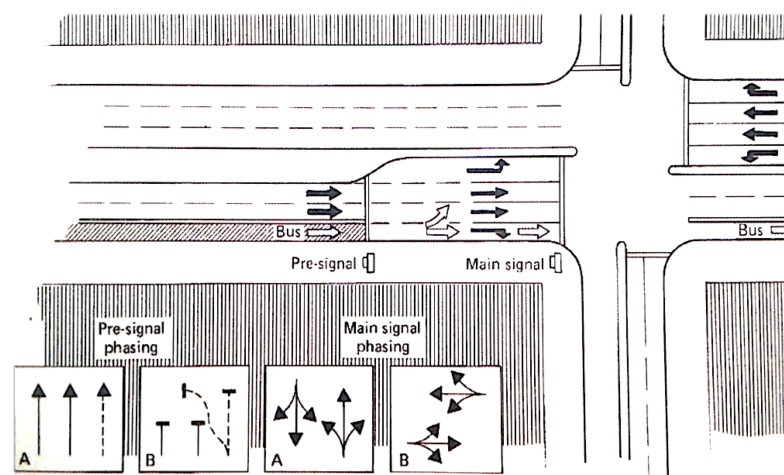


Figura 2.11 – Esquema “pré-verde” (OTAN, 1976)

## **2.5. SÍNTESE**

Este capítulo apresentou as principais medidas de apoio ao transporte público com especial atenção às vias BUS, fundamental para o desenvolvimento deste projeto.

Os benefícios operacionais com a sua implementação são significativos, principalmente em zonas congestionadas, mas também é nestas condições que as piores desvantagens ocorrem. É, por isso, necessária uma cuidada abordagem em cada caso de estudo, por forma a garantir que os benefícios superam as perdas.



# 3

## METODOLOGIA

### 3.1. INTRODUÇÃO

O principal objetivo desta dissertação é avaliar o impacto operacional causado pela introdução de uma via BUS nos restantes veículos presentes na rede.

A maioria dos estudos existentes focam a sua análise apenas na via onde é esperada a implementação da via BUS, deixando por analisar os impactos que ocorrem nas vias adjacentes e que são tão ou mais importantes que os impactos na via principal.

A metodologia adotada neste projeto tem por base dois princípios básicos que assentam na área em estudo e na comparação da situação “antes” e “depois” e irá ser abordada nos pontos seguintes.

### 3.2. METODOLOGIA

A metodologia proposta por Neves J. (2006) que será usada neste projeto assenta na comparação dos indicadores de desempenho entre a situação “antes” e “depois” da introdução da via BUS.

Por forma a quantificar as mudanças nas condições operacionais para os cenários “antes” e “depois”, a metodologia divide-se nos seguintes passos:

- **1. Delimitação da área de estudo:** o principal objetivo deste passo é definir uma região que permita considerar as zonas onde irão ocorrer as maiores mudanças a nível operacional. Toda a rede terá que ser estudada uma vez que o cálculo dos indicadores de desempenho inclui todos os veículos existentes na área em estudo. Desta forma valoriza-se a importância do tráfego em torno da via BUS, indo além da simples análise do corredor onde esta irá ser implementada;
- **2. Seleção do modelo de tráfego:** o uso de modelação torna-se inevitável quando se fala de uma rede de maior dimensão, tendo como principais vantagens a possibilidade de testar diversas soluções e tratar a informação automaticamente. O modelo irá fornecer resultados usados para o cálculo dos indicadores de desempenho;
- **3. Desenvolvimento de cenários:** uma vez que o principal objetivo é comparar os indicadores entre as situações “antes” e “depois”, é necessário codificá-los segundo o ambiente de tráfego urbano em que se inserem. Este processo vai desde a recolha de dados até à validação final;
- **4. Avaliação dos resultados:** nesta fase os resultados provenientes do modelo de tráfego são tratados e analisados de maneira a quantificar os indicadores de desempenho para os dois cenários. Este processo deve incluir todos os veículos que circulam na área em estudo durante os períodos em análise. Para além de fornecer estes resultados, o modelo pode auxiliar na deteção de localizações problemáticas para consequentes otimizações. Neste caso, o desenvolvimento do cenário “depois” da via BUS deve contemplar estas mudanças.

A Figura 3.1 mostra o esquema a ser seguido por esta metodologia. Nesta fase assume-se que já foi feita uma avaliação prévia e que há indicadores que apontam para uma solução fisicamente viável para implementação.

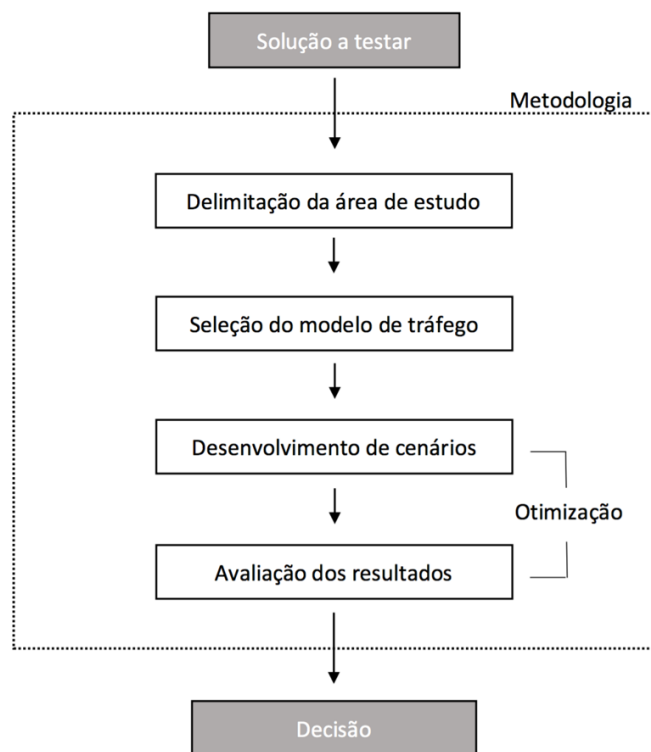


Figura 3.1– Metodologia (Neves J., (2006)

### 3.2.1. DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A escolha da área em estudo deve abranger todas as zonas em que se espera que ocorram significantes mudanças operacionais resultantes da introdução do corredor BUS. Esta será a área analisada no passo de “Avaliação de resultados” tendo, por isso, um papel fulcral na garantia da qualidade dos resultados.

De acordo com o *Traffic Appraisal in Urban Areas* (HMSO, 1996), a área de estudo deve ser escolhida de maneira a abranger:

- As vias que estão a ser usadas, ou se esperam que sejam usadas, pelo tráfego afetado pelo esquema;
- As áreas onde se espera uma diminuição de congestionamento por causa do esquema;
- As áreas suscetíveis a significativos impactos provocados pelo tráfego extra induzido pelo esquema;
- As áreas onde seja espectável melhorias a nível económico.

Por norma, a não ser que os efeitos não possam ser quantificados através do modelo, não é necessário estender a área de estudo para zonas onde ocorrem perturbações momentâneas, exceto quando essas perturbações causam transtornos significativos. As principais zonas a incluir no esquema são aquelas onde se esperam as maiores mudanças, bem como aquelas onde os efeitos secundários são mais sentidos.

As variáveis utilizadas para avaliar a zona de estudo são os fluxos de tráfego e medições relacionadas com o tempo como o tempo médio de viagem, as velocidades e os atrasos, dependendo o nível de detalhe alcançado das variáveis utilizadas. Tem que ser estabelecido um compromisso entre o nível de detalhe pretendido e a dimensão da área de estudo, por forma a garantir a melhor relação entre a qualidade da avaliação e os recursos associados (isto é, o tempo e custo despendidos na recolha de dados).

O recurso a modelos de tráfego justifica-se sempre que se tratam de redes mais complexas, em que o simples conhecimento do local, apesar de muito importante, é insuficiente perante a quantidade de informação que tem que ser processada.

### 3.2.2. SELEÇÃO DO MODELO DE TRÁFEGO

A metodologia proposta assenta na utilização de um modelo de tráfego que compara os indicadores de desempenho entre as situações “antes” e “depois” da via BUS. Para além de possibilitar a avaliação dos cenários mesmo antes da sua implementação física, o modelo de tráfego traz outras vantagens, tais como (Neves J., 2006):

- Capacidade de testar diferentes cenários operacionais;
- Capacidade de processar automaticamente uma grande quantidade de informação;
- Capacidade de extrair resultados que seriam impossíveis de medir em contexto real (analisar todos os veículos para o cálculo do tempo total de viagem);
- Consideração de fenómenos mais complexos que podem ser decisivos para a avaliação (reafecção do tráfego, alastramento de filas de espera).

A decisão do tipo de modelo de tráfego a usar depende do nível de precisão pretendido e da complexidade da rede em estudo. Podemos salientar dois tipos de modelos que permitem analisar os impactos decorrentes da introdução da via BUS:

- **Modelos de afetação de tráfego:** estes modelos preveem, através de uma matriz Origem/Destino (Matriz O/D), as rotas possíveis dos veículos que circulam na rede. A escolha da rota é feita por forma a minimizar os custos da viagem para os usuários da rede, dependendo este fator maioritariamente do tempo despendido no trajeto e da distância a percorrer entre um par O/D. Estes modelos, independentemente da metodologia de afetação usada, são importantes para a avaliação dos efeitos da reafecção do tráfego e dos impactos causados pela introdução de um corredor BUS;
- **Modelos de macro e micro simulação (Tavares, 2016):** os modelos macroscópicos simulam as correntes de tráfego como um fluido contínuo, uma vez que as variáveis de tráfego representam valores médios agregados ao longo de um ciclo (velocidades médias, densidades, filas de espera médias, entre outros), estando mais orientados para um planeamento a nível estratégico sobre esses sistemas. Por outro lado, os modelos microscópicos estão orientados para um nível mais operacional identificando o movimento de cada veículo individual inserido numa corrente de tráfego através as suas características (tipo de veículo, velocidade, origem e destino) e fornecendo uma descrição detalhada do comportamento de condução (*car-following behaviour*, *lane-change behaviour*). Numa análise mais detalhada podemos ainda referir os modelos sub-microscópicos que permitem descrever o comportamento no controlo do veículo (engrenagem de velocidades ou travagens, por exemplo).

Apesar de os modelos de microssimulação serem mais exigentes tanto na quantidade de informação necessária quanto nos recursos computacionais envolvidos, a sua utilização é cada vez mais frequente. Os simuladores de tráfego permitem uma compreensão detalhada do sistema em estudo, evitando intervenções no sistema real que muitas vezes são económica ou operacionalmente inviáveis (Araújo, Davi R. Campos, 2004). Como podemos ver na Figura 3.2, o nível de detalhe alcançado pela análise microscópica faz com que estes modelos sejam a melhor solução para este tipo de problema, desempenhando um importante papel na comparação entre ambos os cenários “antes” e “depois” da via BUS.

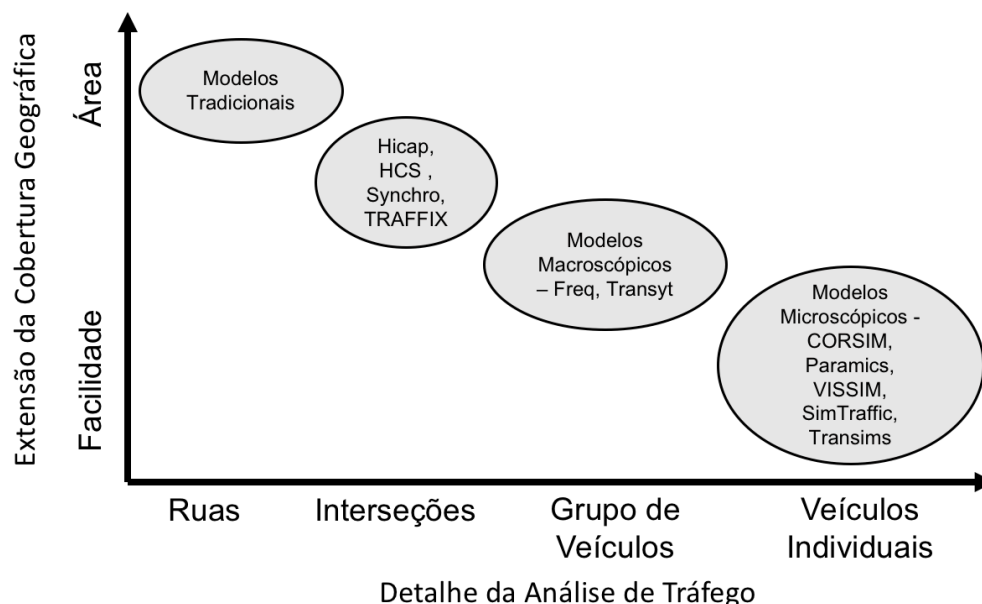


Figura 3.2– Gráfico comparativo entre os diversos tipos de análise (adaptado de Dowling, 2002)

A qualidade dos resultados obtidos está diretamente relacionada com a escolha do modelo a ser usado, sendo os microscópicos os mais indicados para a metodologia proposta uma vez que apresentam resultados necessários para o cálculo dos indicadores de desempenho.

Na Figura 3.3 estão representadas as propriedades cruciais dos modelos de microscópicos segundo o *Review of micro-simulation models* (Smartest, 1997) que testou diversos modelos comerciais em diversas situações e obteve excelentes resultados.

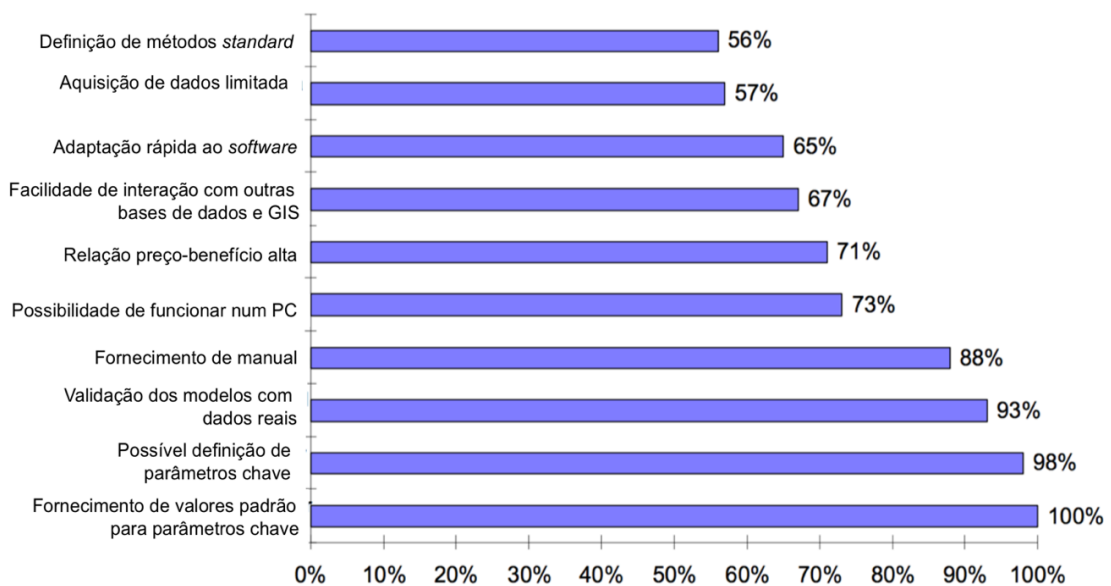


Figura 3.3 – Importância das propriedades dos modelos de microsimulação (adaptado de SMARTTEST, 1997)

No caso específico do estudo da introdução de uma via BUS é necessário ter em conta alguns requisitos aquando da seleção do modelo de tráfego:

- **Existência de um modelo de atribuição:** esta metodologia assume como elemento chave a reafecção do tráfego, assim, este fator deve ser incorporado pelo modelo de microscópico;
- **Resultados diferenciados:** os resultados operacionais devem ser apresentados consoante o tipo de veículo (automóvel e autocarro) para a sua futura conversão em indicadores de “passageiros”;
- **Facilidade em codificar uma via BUS:** a possibilidade de codificar corredores BUS sem a necessidade de considerações intermédias (como por exemplo codificar a via BUS como uma via separada ou prever a necessidade de *setback*) representa um indicador positivo da adequabilidade do modelo. Também facilita a comparação dos resultados uma vez que a estrutura das situações “antes” e “depois” será a mesma;
- **Caracterização operacional dos autocarros:** ao possibilitar a codificação de elementos como a localização das paragens de autocarro, tempo de paragem, frequências e rotas garante uma modelação mais realista das características operacionais dos autocarros, aspeto determinante para a avaliação;
- **Caracterização por tipo de veículo:** a definição dos diferentes parâmetros operacionais consoante o tipo de veículo (comprimento, aceleração, tempo de reação, entre outros) é muito significativo no alcance de resultados realísticos;
- **Transferência de dados:** uma das maiores vantagens dos modelos de microsimulação é a facilidade com que se podem transferir dados entre dois modelos diferentes;
- **Know-how do programa:** o prévio conhecimento do *software* por parte do analista, os dados existente, o tempo e orçamento disponíveis também podem influenciar a escolha do modelo de microsimulação.

### 3.2.3. DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS

Uma vez escolhido o modelo de microssimulação é necessário começar a construir os cenários “antes” e “depois”, sendo estes referentes aos cenários “sem” e “com” via BUS, respetivamente.

À semelhança de outras metodologias o desenvolvimento destes cenários começa com uma coleta de dados, essencial para a caracterização da oferta e procura da rede. De seguida procede-se à calibração e validação com base nos resultados do modelo.

Nos pontos seguintes iremos aprofundar as várias etapas necessárias para um correto desenvolvimento dos diversos cenários, de acordo com a metodologia que estamos a analisar, proposta por Neves J. (2006).

#### 3.2.3.1 Recolha de dados

O nível de detalhe atingido pelo modelo depende da quantidade e qualidade da informação que se dispõe para a construção de todo o processo. O tipo de dados necessários depende do *software* utilizado, mas, de acordo com *Guidelines for Applying Traffic Micro Simulation Modeling Software* (2002), podemos salientar alguns:

- **Dados geométricos:** consistem no número de vias, comprimento, largura e curvatura horizontal das mesmas, dimensão dos cruzamentos e velocidade de circulação. Estes dados podem ser obtidos através dos desenhos construtivos disponibilizados pelas autoridades competentes, inspeções de campo ou fotografias aéreas;
- **Dados de sinalização:** estão relacionados com as informações referentes à gestão de tráfego, tais como sinalização luminosa (ciclos e fases), sistemas de deteção de veículos e peões e sinalização vertical. Mais uma vez, estes dados podem ser obtidos através das autoridades competentes ou em observações das áreas em questão;
- **Dados de tráfego:** este tipo de informação pode ser obtida através de contagens de campo associadas a entrevistas no local ou através de contagens automáticas associadas a detetores localizados em pontos estratégicos da rede. Estes dados são fundamentais para a construção de uma matriz O/D e devem, preferencialmente, ser observados por um período mais alargado do que aquele que será alvo de estudo (normalmente as horas de ponta) e agrupados em períodos de 15 minutos;
- **Dados acerca dos autocarros:** para a avaliação do corredor BUS esta informação é indispensável. Normalmente os dados requisitados pelo *software* são as rotas existentes e a respetiva frequência, tempo médio de percurso, número, localização e tipo de paragens, tempo médio despendido em cada paragem (*dwell time*), ocupação média, entre outros. A maioria destas informações pode ser obtida através dos operadores de transportes públicos locais;
- **Dados de calibração:** à semelhança dos dados de tráfego, estas informações são obtidas através dos mesmos meios. Referem-se a volumes de tráfego, tempos de percurso, atrasos médios, comprimentos de filas de espera, entre outros, e são muito importantes para uma correta modelação;
- **Dados de validação:** este parâmetro define se um modelo é válido ou inválido, dependendo se o erro obtido está, ou não, dentro de um intervalo aceitável. Estes dados são registados em diferentes locais dos dados de calibração, permitindo assim testar o modelo comparando a situação real com o que era previsto.

Considerando que a obtenção de toda a informação disponível pode tornar-se num processo bastante dispendioso, é necessário priorizar a informação mais relevante por forma a obter um modelo o mais aproximado possível à situação real.

### 3.2.3.2. Caracterização da Oferta

Neste ponto a informação recolhida é processada e codificada para a sua posterior introdução no modelo de microsimulação. Os dados mais relevantes prendem-se com informações físicas (comprimentos, números de vias, entre outros) e operacionais (velocidades, fases e ciclos da sinalização luminosa).

A existência de um modelo macroscópico da área em estudo poderá facilitar o processo de codificação, fornecendo uma solução inicial para a caracterização da oferta do cenário “sem” via BUS. Contudo, nem sempre é possível a realização de uma transferência direta dos dados, sendo necessária a sua introdução manualmente.

A Figura 3.4 exemplifica o processo de conversão de dados de um modelo macroscópico para um modelo microscópico. Apesar de este processo representar um bom ponto de partida, a informação que é convertida é muito reduzida, sendo necessária introdução de mais dados numa fase posterior.

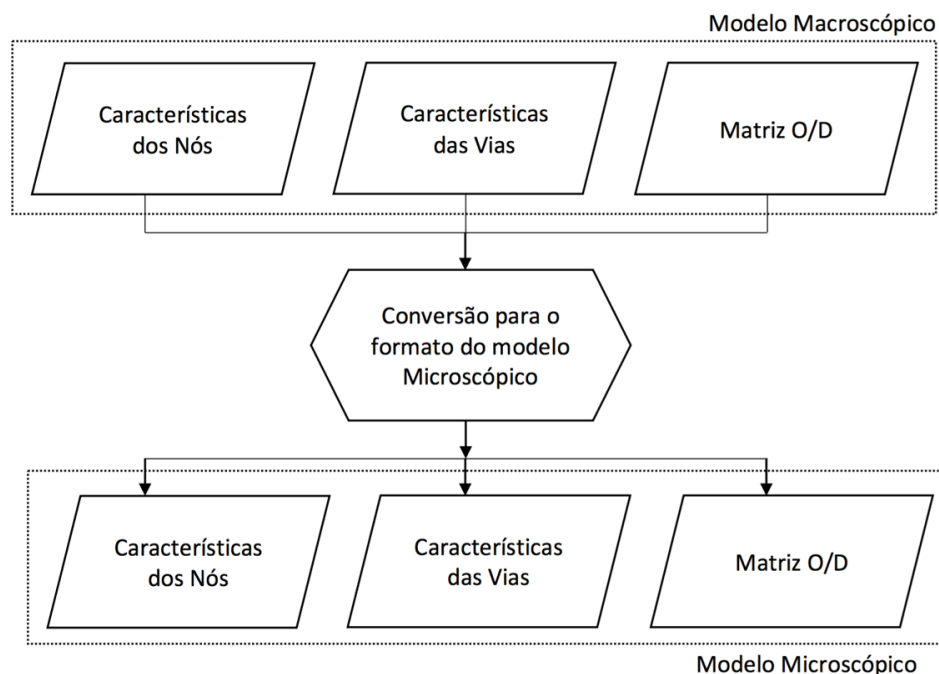


Figura 3.4– Processo de conversão de dados (adaptado de Neves J.,2006)

### 3.2.3.3. Caracterização da Procura

É através deste processo que se constrói a matriz O/D que permite analisar a rede no período pretendido. Como vimos anteriormente, a rede a analisar deve ser representativa da área onde se pretende implementar a via BUS e os períodos escolhidos para estudo devem ser as horas de ponta onde há maior índice de procura.

No cenário “antes” da via BUS, a estimativa da matriz O/D deverá ser baseada em:

- Recolha de dados diretamente no local através da observação dos veículos;
- Derivações de alguns modelos de distribuições de viagens já existentes;
- Dados fornecidos pelas autoridades locais.

No cenário “depois” da via BUS, deverão seguir-se os seguintes passos:

- Recodificar o modelo macroscópico considerando a nova via BUS;
- Executar o modelo macroscópico;
- Selecionar a matriz O/D representativa da área em estudo, incluindo o efeito da reafecção de tráfego que irá ocorrer após a introdução do corredor BUS.

No caso de a matriz O/D ser obtida através de observações locais ou fornecidas pelas autoridades e não através de modelos macroscópicos, a matriz O/D será igual para ambos os cenários “antes” e “depois”.

#### 3.2.3.4. Calibração e Validação

Estas duas etapas apenas são necessárias no cenário “antes” da via BUS e usam os dados observados para ajustar os parâmetros existentes, aproximando o mais possível o modelo às condições reais.

Analisando primeiro a calibração, a metodologia usada depende dos seguintes pontos (Dowling, 2002):

- **Verificação de erros:** envolve diversas verificações à rede tais como revisão dos parâmetro dos veículos, dos atributos das vias e interseções e posterior execução do modelo com volumes muito baixos para uma fácil identificação dos erros;
- **Calibração da capacidade:** neste ponto deverão ser calibrados aspetos relacionados com o comportamento dos veículos (*car following*, mudanças de vias, distâncias aceites pelos condutores). Dados relacionados com a procura e escolha de rota não serão analisados nesta etapa;
- **Calibração da procura:** uma vez que os pontos anteriores estão relacionados com os volumes de tráfego, agora a calibração será no sentido das condições de operação. Destacam-se as escolhas de rota e períodos com picos de procura;
- **Tratamento estatístico:** os dados mais utilizados nesta fase são os fluxos de tráfego e tempos de percurso visto serem os mais facilmente medidos.

A complexidade deste processo aliado à natureza estocástica dos modelos de microsimulação, isto é, o processamento dos valores é aleatório, leva à necessidade de adotar procedimentos automáticos para facilitar o tratamento da rede. O objetivo é encontrar, de forma automática, o conjunto de parâmetros mais adequados para alcançar a melhor calibração possível (Hourdakis et al., 2003 e Park and Qi, 2004).

Quanto à validação, o último passo para a construção do modelo é semelhante ao da calibração, o principal intuito é aferir em que nível está a modelação em relação às condições reais da rede. Serão comparados os dados introduzidos com os resultantes do modelo utilizado. É necessário determinar se as teorias propostas sobre os comportamentos dos condutores e performances dos veículos representados são fieis à realidade.



### 3.2.4. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

O processo de avaliação dos resultados baseia-se na comparação entre a situação “antes” e “depois” dos aspetos operacionais dos cenários (Figura 3.5). As principais etapas a ter em conta e que serão analisadas detalhadamente nos próximos pontos são:

- Definição do âmbito da análise;
- Escolha entre os diferentes indicadores de desempenho;
- Avaliação e tomada de decisões.

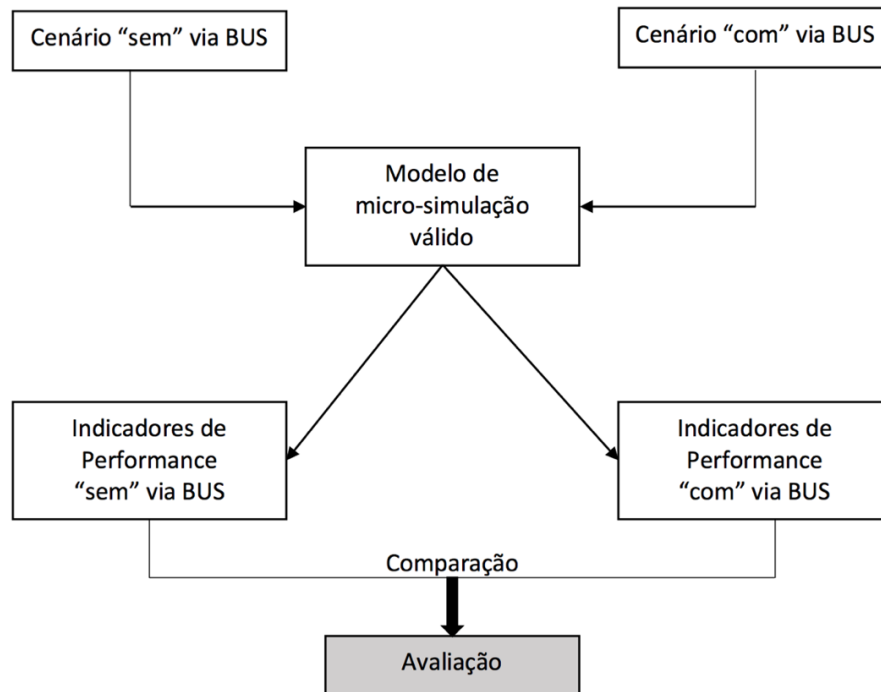


Figura 3.5– Processo de avaliação (adaptado de Neves J.,2006)

#### 3.2.4.1. Definição do âmbito da análise

A metodologia apresentada propõe que os indicadores operacionais selecionados para comparação devam ser apresentados de forma agregada para os diferentes cenários. É baseado nesses indicadores que a viabilidade das decisões é deliberada.

Este método visa incluir o principal objetivo proposto, isto é, a quantificação dos impactos operacionais, em medida temporal, para todo o tráfego significativamente afetado pela introdução da via BUS.

Ao contrário dos métodos convencionais, que só estudam o corredor onde será introduzido a via BUS, este modelo não nega a possibilidade de afetação do tráfego circundante, incluindo, assim, as condições operacionais de toda a rede.

#### 3.2.4.2. Indicadores de desempenho

Os indicadores de desempenho são fundamentais para a avaliação de todo o processo, uma vez que é baseado neles que toda a análise é feita. A decisão sobre a adequação, ou não, da introdução de uma via BUS é tomada consoante estes fatores. A metodologia proposta não determina um específico modelo de tráfego pelo que a escolha dos indicadores deve ser feita consoante o *software* escolhido.

A sua utilização é indicada para avaliar a totalidade da área em estudo e, também, identificar os pontos de maior congestionamento da rede. Contudo, destacam-se alguns indicadores que os microsimuladores devem ser capazes de processar e analisar direta ou indiretamente:

- **Tempo total de percurso:** é a soma do produto dos volumes de tráfego com o tempo de percurso de cada via. É um indicador do tempo total que um veículo gasta na rede durante o período em análise. Uma diminuição deste tempo, por norma, reflete uma melhoria operacional do sistema;
- **Tempo total de atraso:** é o produto entre o volume de tráfego e o atraso na via, somado por todas as vias. Alguns modelos consideram que o atraso é a diferença entre o tempo em regime livre (*free flow time*) e o tempo de percurso, enquanto que outros, como é o caso do modelo usado nesta dissertação, consideram que é o tempo que o veículo esteve parado numa determinada via;
- **Tempo em velocidade cruzeiro:** é o total de todos os produtos entre o volume de tráfego e o tempo em velocidade cruzeiro numa via. Ao se tratar de um indicador complementar ao tempo total de atraso, a sua definição pode variar de modelo para modelo. Pode ser útil para as comparações entre diversas alternativas, especialmente para uma perceção mais profunda das mudanças sofridas;
- **Distância total percorrida:** é o somatório de todos os produtos entre o volume de tráfego e o comprimento da respetiva via. É um indicador da distancia percorrida dentro da rede, no período em análise;
- **Velocidade média global:** é a relação entre a distância total percorrida e o tempo total de percurso. Esta medida representa um indicador global das condições operacionais do sistema e tem a vantagem de ser independente do volume de tráfego, ao contrário dos outros indicadores. Por norma, a diminuição da velocidade média global significa uma deterioração das condições operacionais.

Para além destes, é importante avaliar os indicadores respeitantes ao desempenho na perspetiva do passageiro, veículos e BUS, num ponto de vista de análise das estratégias de apoio ao transporte público. Estes indicadores diferenciam-se dos apresentados anteriormente ao adicionarem a ocupação média por veículo, o que implica a diferenciação dos dados por tipo de veículo e uma estimativa da ocupação de cada veículo.

Os principais indicadores obtidos são:

- **Tempo total por passageiro:** é o produto entre o tempo total de percurso e a ocupação média do veículo;
- **Distância total por passageiro:** é o produto entre a distância total percorrida e a ocupação média do veículo;
- **Velocidade do passageiro:** é o produto entre a distância total percorrida e o tempo total por passageiro.

A consideração da ocupação média de cada veículo funciona como um fator de ponderação para o cálculo de cada indicador. Em termos práticos, será dado um peso maior aos veículos que transportam mais passageiros, como é o caso dos autocarros. Nesse caso, as mudanças nas condições operacionais terão maior influência para o cálculo da velocidade de cada passageiro.

Atendendo à natureza aleatória dos modelos microscópicos, serão de esperar resultados diferentes para cada simulação. Assim, é necessário executar o modelo diversas vezes, por forma a obter um valor médio para cada indicador.

#### 3.2.5. DECISÃO

Quando todos os passos estiverem completos, em especial quando, através do tratamento estatístico, obtivermos uma comparação entre os dois cenários, “antes” e “depois”, podemos tomar uma decisão tendo por base a avaliação desses resultados.

Nos casos em que os benefícios atingidos ao nível do tempo total que um veículo gasta na rede, no período de estudo, são os esperados, então deve-se proceder a uma nova avaliação. Apesar de, operacionalmente, a viabilidade do sistema estar garantida, é desejável proceder-se a uma avaliação económica. Os aspetos operacionais são indispensáveis para qualquer avaliação económica, sendo, portanto, indispensáveis os resultados obtidos através da metodologia que tem vindo a ser discutida.

### 3.3. SÍNTESE

Neste capítulo foi apresentada a metodologia proposta por João Neves (2006) e que será utilizada para a análise da rede proposta nesta dissertação, que será estudada no próximo capítulo.

Como vimos, os principais objetivos deste método são a definição da zona de estudo e a comparação entre os cenários “antes” e “depois”. Para tal, será utilizado o *software PTV Vissim*, programa de microsimulação de tráfego, que permite simular, com precisão, os padrões de tráfego e representar todos os usuários de uma determinada rede.



## 4

## CASO DE ESTUDO

## 4.1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo iremos analisar todos os aspetos necessários à modelação de uma rede de transportes. Para tal, será estudada uma importante artéria da cidade do Porto, Portugal, definindo a zona de estudo e a sua situação atual. Toda a modelação será feita através do programa de microsimulação *PTV Vissim*, abordado no ponto seguinte.

## 4.2. MODELO DE TRÁFEGO

O *software* de microsimulação escolhido para se construir uma rede representativa da zona de estudo e mais tarde avaliar os cenários “antes” e “depois” da via BUS foi o *PTV Vissim* (*PTV Group*).

Trata-se de um programa que permite simular, com exatidão, os padrões de tráfego, comparando as geometrias das interseções, analisando os esquemas de prioridade do transporte público ou considerando o efeito de certas sinalizações. O *PTV Vissim* permite representar todos os usuários de uma determinada rede (transportes motorizados privados, transportes de mercadorias, transportes públicos ferroviários e rodoviários, peões e ciclistas) e as suas interações num único modelo.

A simulação do comportamento do condutor é o cerne da simulação de tráfego. O movimento dos veículos é o elemento chave para se conseguir criar modelos realísticos. Assim, o *software* em questão faz uma distinção entre três modelos, sendo eles os modelos de *car-following*, de mudança de via e de comportamento lateral dentro da mesma via.

O modelo de *car-following*, desenvolvido pelo Prof. Rainer Wiedemann, no *Karlsruhe Institute of Technology*, entre 1974 e 1999, descreve o movimento do tráfego dentro da mesma via, detalhado nos seguintes pontos e ilustrado na Figura 4.1:

- **1. Condução livre:** o condutor prossegue na velocidade desejada desde que não hajam obstáculos na sua frente. Esses obstáculos poderão ser veículos em marcha lenta, sinais vermelhos ou potenciais colisões de veículos durante uma mudança de via;
- **2. Aproximação:** o condutor apercebe-se que há um veículo em marcha lenta à sua frente e inicia uma redução de velocidade até atingir uma distância desejável;
- **3. Seguimento:** o condutor tenta manter sempre a mesma distância do veículo da frente mas, como não conhece a velocidade a que este circula, vai acelerando e desacelerando até conseguir equilibrar a distância a que se encontram;
- **4. Desaceleração:** se o veículo da frente reduzir a sua velocidade bruscamente então, o veículo que o segue atrás também o terá que fazer. Para cada veículo, o *PTV Vissim* verifica a distância e a diferença de velocidades em relação ao veículo da frente.

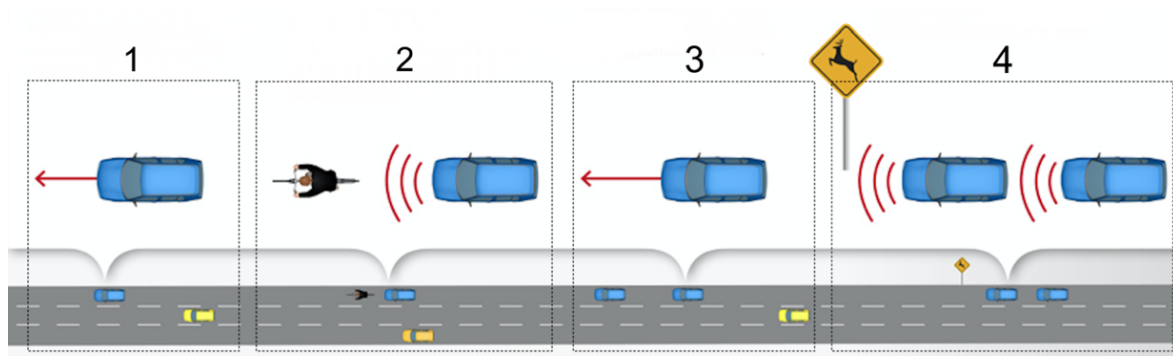


Figura 4.1 – Esquema do modelo de car-following (Wiedemann, 1974)

Em relação ao movimento de mudança de via, o *software* admite duas possibilidades (Figura 4.2):

- **1. Mudança de via livre:** esta mudança ocorre quando há a necessidade de ultrapassar um veículo mais lento, ou seja, quando a velocidade desejada pelo condutor é superior à velocidade aplicada pelo veículo da frente. É necessário assegurar que os veículos existentes na outra via não são indevidamente afetados por este movimento;
- **2. Mudança de via necessária:** ocorre quando o condutor, por forma a seguir uma determinada rota, necessita de mudar de via. Quanto mais o condutor se aproxima do local onde precisa de tomar uma decisão, mais brusco o movimento será e maior será a sua aceitação aos obstáculos impostos por outros veículos. Contudo, o comportamento dos outros condutores também será no sentido de facilitar a mudança de via desse veículo.

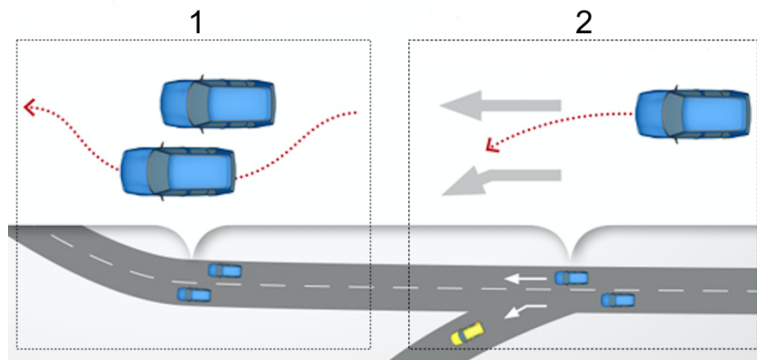


Figura 4.2 – Esquema do Modelo de mudança de via (Wiedemann, 1974)

Por último, o comportamento lateral dentro da mesma via é baseado num comportamento *non-lane*, isto é, a escolha da posição do veículo dentro da via é importante quando este consegue dividir o espaço com outro veículo e permanecer lado a lado. O caso mais corrente é quando circulam ciclistas na via destinada ao trânsito automóvel (Figura 4.3).

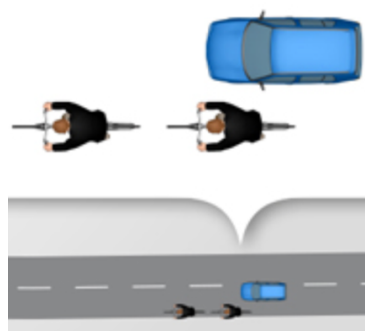


Figura 4.3 – Esquema do modelo de comportamento lateral dentro da mesma via (Wiedemann, 1974)

### 4.3. DEFINIÇÃO DA ZONA DE ESTUDO

A localização escolhida para a realização do presente estudo foi a Rua da Constituição, uma das vias de sentido único mais importantes da cidade do Porto (Figura 4.4). Como foi referido anteriormente, e por forma a obter resultados mais realistas, a análise foi alargada para toda a área circundante da artéria em estudo, tendo sido delimitada segundo os dados fornecidos.

Portanto, a rede a ser analisada engloba desde a Praça do Marquês de Pombal até à Rua de Antero de Quental, entre as Ruas da Constituição e Damião de Góis/João Pedro Ribeiro. Adotou-se esta rede também por ser uma zona onde se dispunham de dados de tráfego em 9 secções essenciais para o estudo em causa. Na Figura 4.5 está indicada, através da respetiva numeração, a localização de cada “contador”. De realçar que os contadores irrelevantes para a obtenção da matriz O/D não foram representados na Figura 4.5, daí a numeração dos mesmo não estar contínua.



Figura 4.4 – Enquadramento da zona de estudo no mapa da cidade do Porto (Fonte: Google Maps)



Figura 4.5 – Zona de estudo com a localização dos “contadores” (Fonte: *Google Maps*)

A Rua da Constituição representa um eixo viário de sentido único, com uma extensão de 2,7 km, que assegura tanto as ligações entre Este/Oeste como as ligações entre algumas vias radiais bastante influentes. Atravessa praças e ruas muito congestionadas como, por exemplo, a Praça do Marquês de Pombal, com um elevado fluxo de transportes públicos, a Rua de Faria Guimarães que faz a ligação à Via de Cintura Interna (VCI), uma das principais artérias que circunda a cidade e, ainda, a Rua de Antero de Quental que é uma das principais ligações Norte/Sul. Trata-se, por isso, de uma via estruturante onde qualquer alteração que se realize tem um forte impacto no tráfego ao redor da mesma.

Segundo a Câmara Municipal do Porto (CMP), é expectável que se prolongue, num futuro próximo, os já existentes corredores BUS na Rua da Constituição. Na Figura 4.6 pode-se observar os corredores BUS já existentes (com aproximadamente 800 m de extensão cada), sendo o primeiro entre a Rua Oliveira Martins e a Praça do Marquês de Pombal e o último entre a Rua de Serpa Pinto e a Rua de Pedro Hispano, local onde finda a Rua da Constituição. O novo corredor BUS, proposto pela CMP e que é alvo de estudo nesta dissertação, situa-se entre a Praça do Marquês de Pombal e a Rua de Antero de Quental com uma extensão aproximada de 550 m (troço a verde na Figura 4.6).





Figura 4.6 – Área em estudo e localização das vias BUS (Fonte: Google Maps)

A rede a ser estudada caracteriza-se por uma ocupação de solo maioritariamente destinada a comércio, serviços e habitação, contemplando ainda uma igreja, várias escolas, um hospital e um campo de futebol. A maioria das ruas que intersesta caracterizam-se por ser de sentido único, com a exceção da Rua de Antero de Quental e o caso particular da Rua de Costa Cabral em que o sentido Norte/Sul é restrito para BUS, motociclos e ciclomotores funcionando, por isso, como uma via de sentido único para o restante tráfego.

Um dos principais problemas que se regista na Rua da Constituição, e que dificulta a circulação dos autocarros, é a forte incidência de estacionamento ilegal à direita. Como vimos anteriormente, uma das principais formas de implementar um corredor BUS é, precisamente, eliminando o estacionamento existente por forma a libertar espaço para a nova via exclusiva. Neste caso em particular, para além de se possibilitar a implementação da via BUS à direita, reforça-se a noção de que é proibido o estacionamento nesse local, diminuindo a intenção, por parte dos condutores, de o fazerem.

#### 4.4. CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL

Neste ponto iremos analisar, em detalhe, todos os aspetos relacionados com a infraestrutura rodoviária, por exemplo, a geometria das vias, a localização das paragens, as linhas e os respetivos horários dos autocarros que afetam a zona, a procura geral de tráfego e a sinalização luminosa. Desta forma, será possível caracterizar a situação atual, que irá representar o cenário “antes”, como mencionado do Capítulo 3.

##### 4.4.1. GEOMETRIA DAS VIAS

A rede proposta para análise caracteriza-se, maioritariamente, por vias de sentido único com elevado volume de tráfego ligeiro e de transportes públicos. Na Tabela 4.1 pode-se observar uma caracterização das ruas pertencentes à zona de estudo, onde estão detalhados o número de vias e sentido de cada uma. Optou-se por admitir que cada via tem uma largura de 3,5 m, como sugere o programa.

A Figura 4.7 representa a rede modelada no programa *PTV Vissim*, em que a informação presente na Tabela 4.1 é fundamental para a construção da rede.

Tabela 4.1. – Caracterização das ruas pertencentes à zona de estudo

Rua	Número de Vias	Sentido
Constituição	2	Único
Damião de Góis	2 + 1 via BUS	Único
João Pedro Ribeiro	2 + 1 via BUS	Único
Antero de Quental	2	Duplo
Cantor Zeca Afonso	3	Único
S. Brás	2	Único
Faria Guimarães	1	Único
Visconde de Setúbal	1	Único
Lindo Vale	1	Único
Costa Cabral	1 + 1 via BUS	Duplo
Praça do Marquês de Pombal	2	Único
Latino Coelho	2	Único
Santa Catarina	2	Único
Bonjardim	1	Único
Travessa da Sra. da Conceição	1	Único

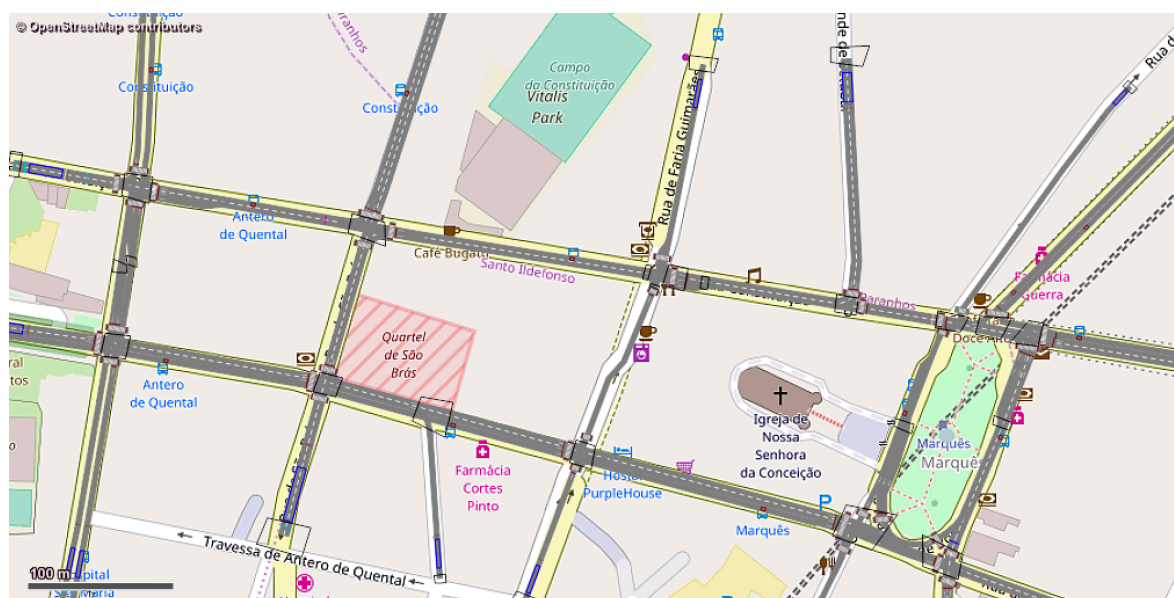


Figura 4.7 – Área em estudo no programa *PTV Vissim*

#### 4.4.2. TRÁFEGO NA REDE VIÁRIA

Para a análise do problema proposto será feita uma análise das horas de ponta da manhã e da tarde. Para tal, foram analisadas matrizes de origem/destino (matrizes O/D) estimadas a partir dos dados de tráfego disponibilizadas pela CMP. As contagens foram realizadas durante um dia de semana, através dos contadores ilustrados na Figura 4.5. Admite-se que, no dia em que foram realizadas as contagens, a afluência de tráfego é muito semelhante a qualquer outro dia útil, tomando-se estes valores como uma ótima aproximação da realidade.

Na Figura 4.8 pode-se observar a área em estudo com indicação dos centróides que foram utilizados para a construção da matriz O/D. As contagens foram realizadas durante um período de 24 horas, e divididas em matrizes de 15 minutos. Na Tabela 4.2 podemos observar o exemplo de uma dessas matrizes, referente ao período entre as 08h15 e as 08h30. A primeira coluna refere-se aos centróides de origem e a primeira linha aos centróides de destino. Estão, também, representados os totais de cada centróide, isto é, no fim de cada linha temos o número total de veículos que surgiram de um centróide de origem e no fim de cada coluna o total de veículos que tiveram como destino o centróide correspondente. Assim, entre as 08h15 e as 08h30 um total de 191 veículos saíram do centróide número 730, 263 veículos tiveram como destino o centróide número 746 e no total circularam na rede 1025 veículos.

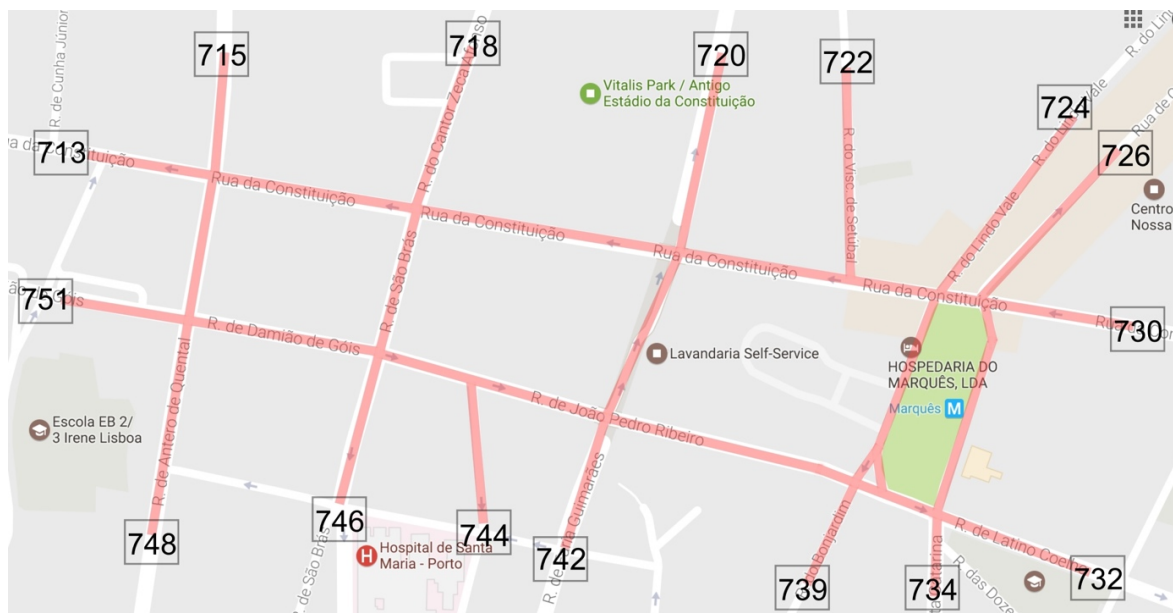


Figura 4.8 – Área em estudo com indicação dos centróides (Fonte: Google Maps)

Tabela 4.2. – Matriz O/D do período entre as 08h15 e as 08h30 (Fonte: CMP)

O/D	713	715	720	724	726	732	739	744	746	748	TOTAIS
715	1	0	21	4	4	21	7	7	34	1	100
718	42	42	34	6	6	34	11	11	55	42	283
722	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
726	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
730	36	36	22	1	1	3	0	9	47	36	191
734	40	40	24	2	2	6	2	10	52	40	218
742	5	5	3	1	1	3	1	1	7	5	32
748	1	1	21	4	4	21	7	7	34	0	100
751	1	1	21	4	4	21	7	7	34	1	101
TOTAIS	126	125	146	22	22	109	35	52	263	125	1025

Fazendo uma rápida análise à matriz O/D presente na Tabela 4.2 podemos concluir que, através das contagens feitas, não foi possível distinguir o fluxo de tráfego proveniente dos centróides número 722 e 726, situação que se repete para todas as matrizes. Provavelmente, o volume proveniente do centróide número 730 contempla o fluxo proveniente dos centróides atrás mencionados. Posto isto, e uma vez que não é possível distinguir esses diferentes fluxos, assumiu-se que todo o fluxo vem do centróide 730. Assim, a Rua Visconde de Setúbal não terá tráfego atribuído (centróide 722) e a Rua de Costa Cabral (centróide 726), no sentido de entrada na rede, só terá atribuído o tráfego referente aos transportes públicos que por lá passam, uma vez que é uma via BUS.

Para efeitos de análise admitiu-se que a hora de ponta da manhã e da tarde são, respetivamente, entre as 08h30 e as 10h00 e entre as 18h30 e as 20h00. As Tabela 4.3 e Tabela 4.4 resumem os volumes de tráfego existentes nas diferentes horas de ponta.

Tabela 4.3. – Procura geral de tráfego na área em estudo entre as 08h30 e as 10h00

Hora de Ponta da Manhã	08h30	08h45	09h00	09h15	09h30	10h00	TOTAL
Nº de veículos	1342	1456	1308	1241	1192	1239	7778

Tabela 4.4. – Procura geral de tráfego na área em estudo entre as 18h30 e as 20h00

Hora de Ponta da Tarde	18h30	18h45	19h00	19h15	19h30	20h00	TOTAL
Nº de veículos	1080	1061	1019	1110	1223	1298	6791

#### 4.4.3. TRANSPORTES PÚBLICOS

A caracterização da oferta de serviços de transporte público foi baseada na recolha de informações que incluem dados desde a cobertura espacial e temporal da rede até ao material circulante utilizado pela operadora de transporte.

No estudo da zona em questão, o serviço de TP é assegurado, maioritariamente, pela operadora STCP (Sociedade de Transportes Coletivos do Porto, SA), reconhecida como uma empresa de referência a nível nacional e europeu. A frota utilizada divide-se em autocarros *standard*, semi-articulados e de dois pisos, estando as características de cada um detalhadas na Tabela 4.5. Na Figura 4.9 podemos observar um exemplar de cada autocarro.

Tabela 4.5. – Características do material circulante

Autocarro	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Lotação
<b>Standard</b>	15,1	2,5	3,0	90
<b>Semi-articulado</b>	17,5	2,5	3,0	135
<b>Dois pisos</b>	13,7	2,5	4,1	126



Figura 4.9 – Autocarros *standard*, semi-articulado e de dois pisos, respetivamente (Fonte: STCP)

Para melhor compreensão do sistema de transportes públicos que circulam na rede, apresenta-se na Tabela 4.6 uma síntese de todas as linhas da empresa STCP que operam na rede no período em estudo,

destacando a negrito as linhas que circulam pela corredor BUS proposto. As frequências e os horários das linhas constituíram uma base de dados importante para a modelação da rede no programa *PTV Vissim* e pode ser consultada no Anexo A.1.

Tabela 4.6. – Linhas STCP que afetam a rede (Fonte: STCP)

<b>Linha</b>	<b>Numeração adotada (<i>PTV Vissim</i>)</b>	<b>Sentido</b>
<b>203</b>	<b>1</b>	<b>Marquês – Castelo do Queijo</b>
203	2	Castelo do Queijo – Marquês
<b>206</b>	<b>3</b>	<b>Campanhã – Viso</b>
206	4	Viso – Campanhã
302	5	Circular Aliados – Damião de Góis
<b>303</b>	<b>6</b>	<b>Circular Praça da Liberdade – Constituição</b>
304	7	Circular Trindade – Santa Luzia
304	8	Circular Santa Luzia – Trindade
402	9	Boavista – São Roque
<b>402</b>	<b>10</b>	<b>São Roque – Boavista</b>
600	11	Aliados – Maia
600	12	Maia – Aliados
701	13	Bolhão – Codiceira
701	14	Codiceira – Bolhão
702	15	Bolhão – Travagem
702	16	Travagem – Bolhão
<b>703</b>	<b>17</b>	<b>Sonhos – Cordoaria</b>

Outro aspeto igualmente importante é a localização das paragens de autocarros, que afetam diretamente a circulação rodoviária, principalmente nas ruas que não dispõem de vias BUS. Assim, na Figura 4.10 está ilustrada a localização das paragens dos autocarros da empresa STCP.

Tendo em conta o espaçamento entre paragens, o tipo e dimensão do autocarro, o volume de passageiros a embarcar e desembarcar e o método de pagamento dos títulos de transporte, foi considerado que cada autocarro pára, em média, 30 segundos em cada paragem para embarque e desembarque de passageiros e circula a uma velocidade máxima de 20 km/h (*Transit Capacity and Quality of Service Manual*, 2013).



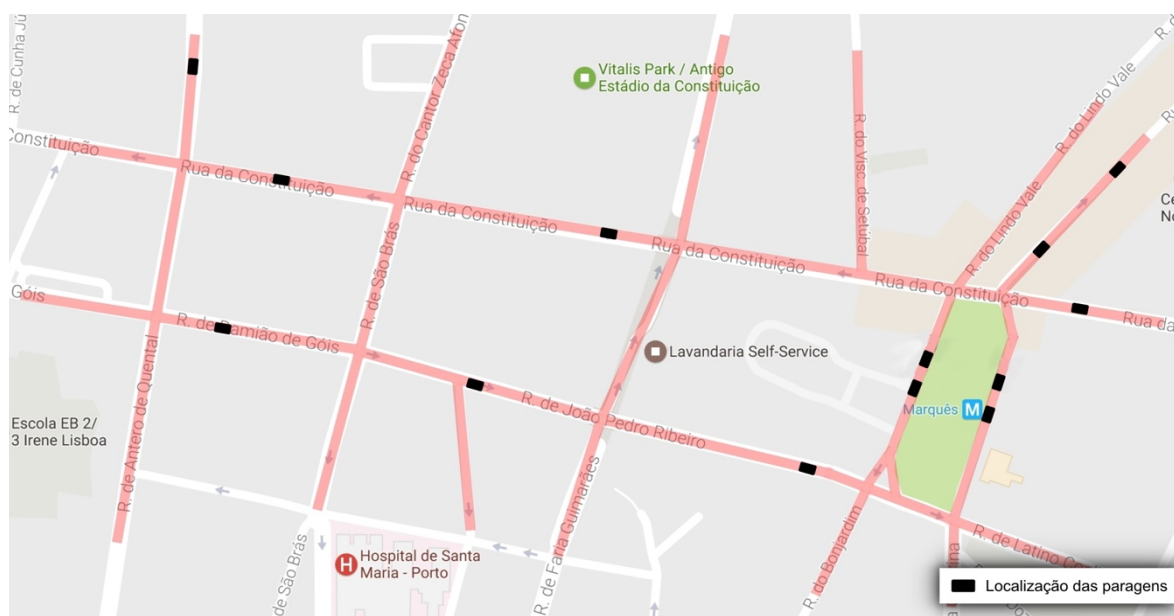


Figura 4.10 – Área em estudo com indicação da localização das paragens STCP (Fonte: *Google Maps*)

#### 4.4.4. SINALIZAÇÃO LUMINOSA

Uma das mais importantes medidas de gestão de tráfego aplicáveis a cruzamentos de nível é a utilização de sinais luminosos. Como tal, este será um dos pontos a analisar no estudo da rede, uma vez que assumem um papel preponderante na regulação do tráfego.

Para uma modelagem da rede o mais aproximada possível da realidade, foram solicitados à CMP todos os grupos de sinalização luminosa afetos à área em estudo, representados na Figura 4.11.

Assim, foram igualmente fornecidos as geometrias de cada cruzamento e os planos de circulação, identificando as fases e as correntes de tráfego que avançam em cada fase.

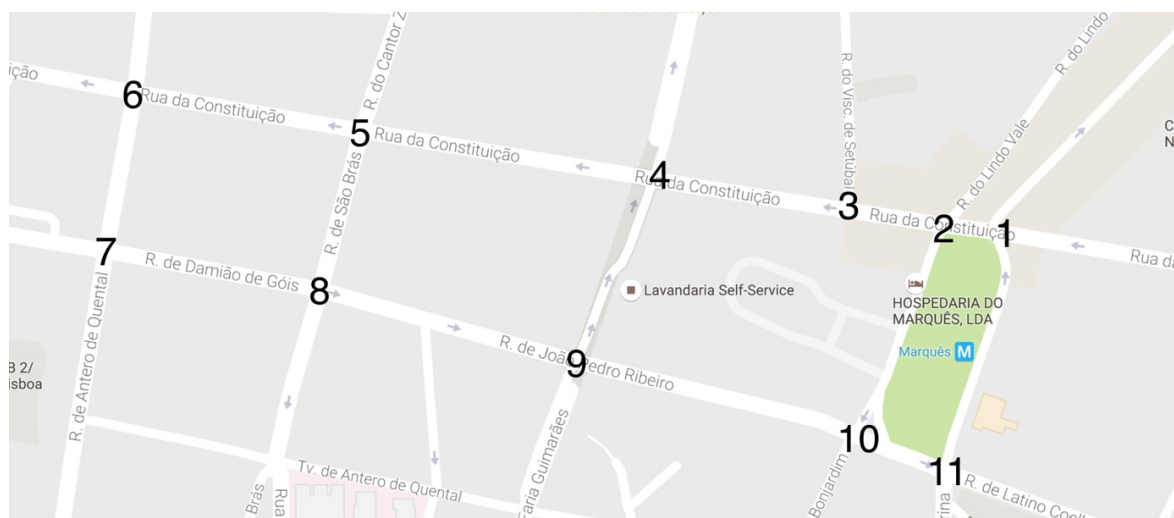


Figura 4.11 – Área em estudo com indicação dos grupos de sinalização luminosa solicitados (Fonte: Google Maps)

A título de exemplo, apresentam-se nas Figura 4.12 e Figura 4.13 a geometria do cruzamento da Rua Damião de Góis com a Rua de Antero de Quental sendo a primeira referente à planta fornecida pela CMP e a segunda à respetiva codificação para o programa *PTV Vissim*. O mesmo acontece na Figura 4.14 e na Figura 4.15, onde na primeira se encontra representado o diagrama do ciclo luminoso do mesmo cruzamento e de seguida a sua transcrição para o programa *PTV Vissim*.

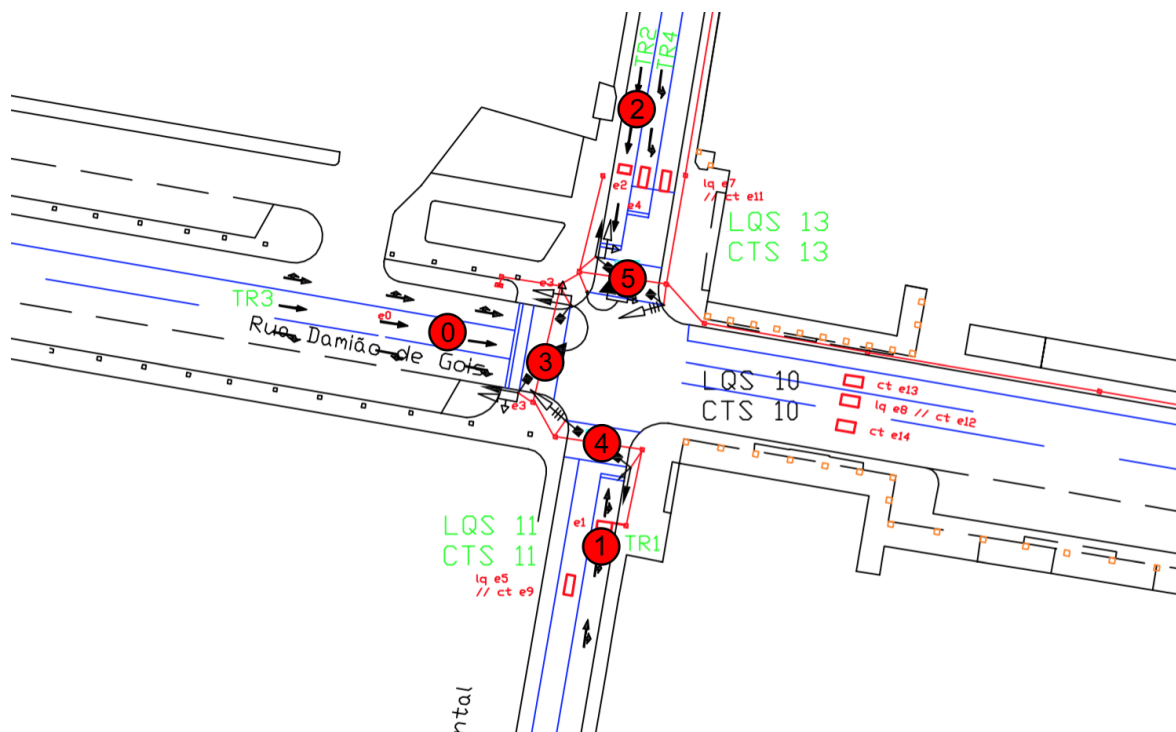


Figura 4.12 – Geometria do cruzamento da Rua Damião de Góis com a Rua de Antero de Quental (Fonte: CMP)

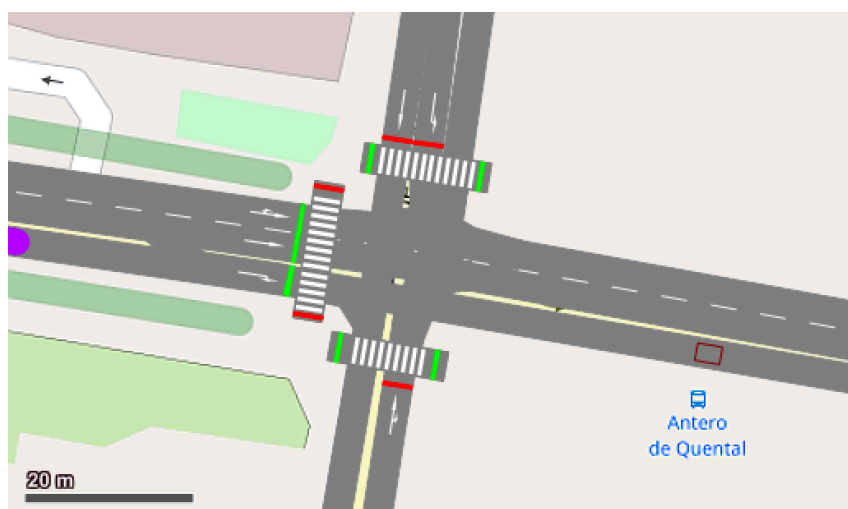


Figura 4.13 – Geometria do cruzamento da Rua Damião de Góis com a Rua de Antero de Quental no programa *PTV Vissim*



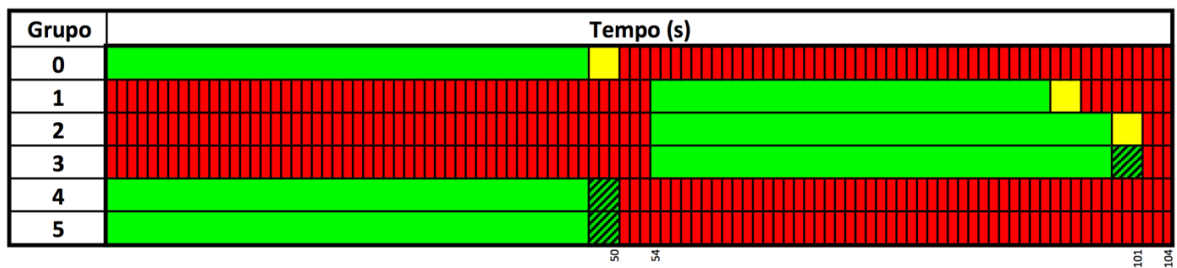


Figura 4.14 – Representação do diagrama do ciclo do cruzamento da Rua Damião de Góis com a Rua de Antero de Quental (Fonte: CMP)

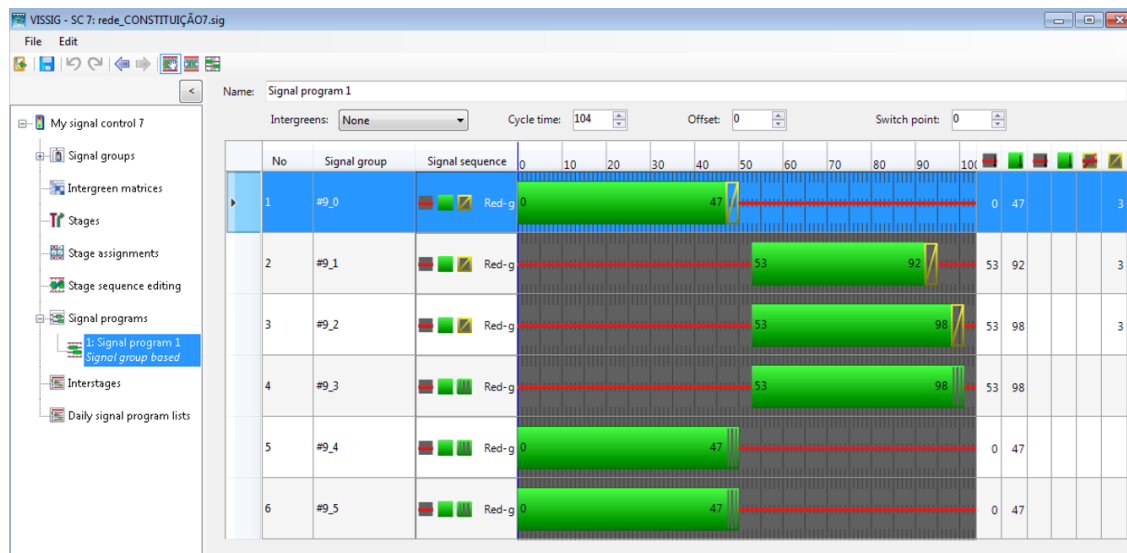


Figura 4.15 – Representação do diagrama do ciclo do cruzamento da Rua Damião de Góis com a Rua de Antero de Quental no programa PTV Vissim

Por forma a evitar conflitos entre correntes de tráfego com tempos de verde em fases sucessivas, foi adotado um tempo de limpeza igual a 3 segundos. Este tempo inicia-se imediatamente a seguir ao último instante em que a primeira corrente de tráfego a ser servida pode avançar, o que no caso dos veículos coincide com o instante final do tempo de amarelo e no caso dos peões coincide com o fim do tempo de verde intermitente, e terminam com o início do verde da outra corrente de tráfego (Costa, A., et al, 2008).

#### 4.5. SÍNTESE

Este capítulo teve como propósito a materialização das informações necessárias a introduzir no programa PTV Vissim. Desde a definição da zona de estudo até à caracterização da situação atual, englobando dados referentes à geometria das vias, tráfego na rede viária, transportes públicos e sinalização luminosa, ficando assim concluído o processo de desenho, podendo passar-se à respetiva implementação tecnológica e comparação de resultados.



# 5

## SOLUÇÃO PROPOSTA E ANÁLISE DE RESULTADOS

### 5.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo será descrita a solução proposta para a rede em estudo, sendo que a principal alteração ocorre na Rua da Constituição, com a introdução de uma via exclusiva para o transporte público (via BUS). Seguidamente serão mostrados os resultados referentes aos diversos cenários avaliados incluindo uma análise crítica dos mesmos. No final do capítulo é feita uma conclusão sobre as alterações propostas, a sua operação e limitações.

### 5.2. SOLUÇÃO PROPOSTA

Como mencionado no início desta dissertação, o principal objetivo deste trabalho foi o de analisar os impactos decorrentes da introdução de uma via BUS na Rua da Constituição (Porto), utilizando o programa de microsimulação *PTV Vissim*. Uma vez descrita a situação atual em que se encontra a rede em estudo, foi possível proceder-se ao desenvolvimento de uma solução a implementar, englobando a via BUS.

No presente estudo admite-se que a nova via exclusiva para transportes públicos a ser implementada resulta da conversão da via de circulação mais à direita existente na Rua da Constituição, mantendo o estacionamento legal no lado esquerdo. Assim, no troço entre a Praça do Marquês de Pombal e a Rua de Antero de Quental, a rua passaria a ter uma zona de estacionamento legal à esquerda, uma via de circulação aberta ao restante tráfego e uma via BUS à direita.

O esquema principal da rede não se altera, isto é, todas as possibilidades de viragens à direita ou esquerda mantêm-se, sendo que no caso das viragens à direita será necessária a existência de um *setback*, sendo este um dos ponto-chave da análise a ser feita. Uma vez que os autocarros que operam na rede em questão têm as portas de entrada e saída de passageiros do lado direito da viatura, torna-se necessário que o corredor BUS se situe do lado direito da rua. No que diz respeito à sinalização luminosa, serão assumidos semáforos de tempos fixos, como referido no capítulo anterior.

A presente análise foca-se nos impactos sofridos ao nível do tempo total de viagem, velocidades e atrasos médios, deixando de parte o tratamento de informações ao nível de custos operacionais e impactos ambientais.

Na Figura 5.1 está presente a rede em estudo com a via BUS referida anteriormente já introduzida, sendo, então, esta figura representativa do cenário “depois” como referido no Capítulo 3.

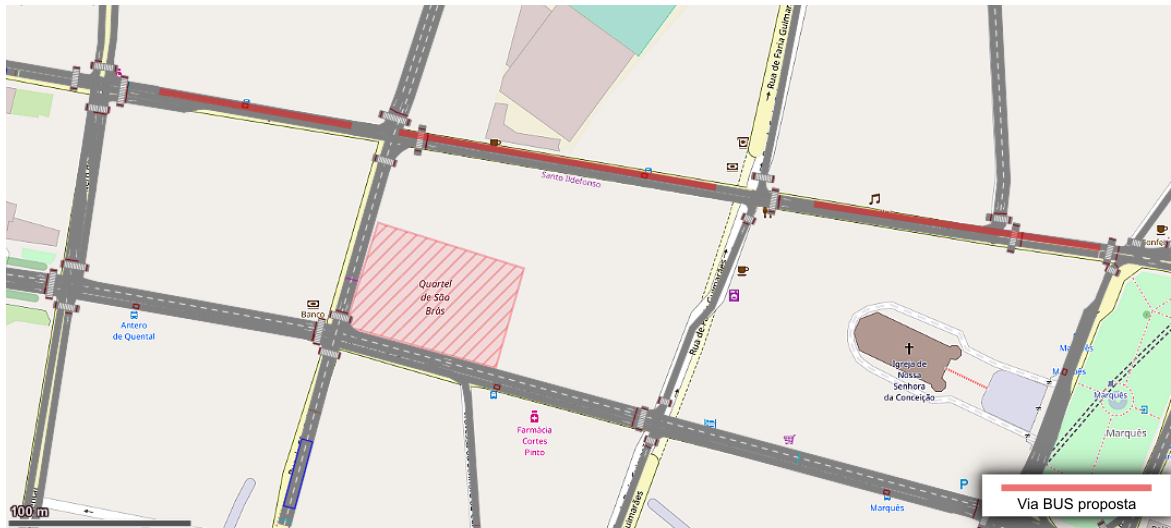


Figura 5.1 - Área em estudo no programa *PTV Vissim* com a localização da nova via BUS

A adoção de uma via BUS contínua iria impossibilitar algumas viragens à direita, caso contrário obrigaria à redefinição do esquema de fases, modificando o esquema inicial da rede. Assim, é necessário recuar o fim da via BUS antes de cada interseção, denominado por *setback* na bibliografia consultada pelo que é adotado este termo ao longo da dissertação.

De acordo com o documento *Bus Priority Guidelines* (2003) a distância do *setback* deve ser tal que um autocarro, presente no fim da fila de veículos existentes no *setback*, consiga atravessar o cruzamento ainda na fase do tempo de verde da interseção. Para determinar o seu comprimento máximo tem que se considerar o tempo mínimo de verde e calcular o número de veículos que conseguem atravessar nesse período de tempo.

Assim, por forma a realizar uma análise mais detalhada, este cenário geral da situação “depois” foi subdividido em quatro cenários que se diferenciam pela adoção de diferentes comprimentos de *setback* em duas interseções distintas, como se pode visualizar na Figura 5.2.

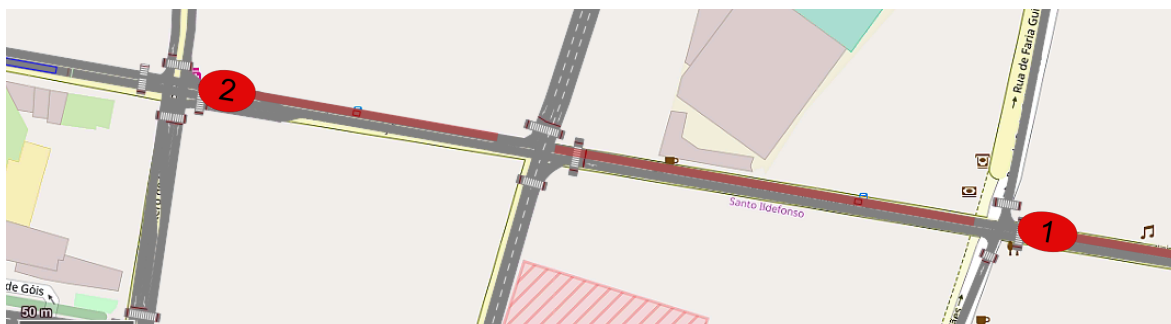


Figura 5.2 – Identificação dos cruzamentos onde é necessária a utilização de *setback* (PTV Vissim)

A análise realizada teve por base a comparação entre os resultados obtidos para o cenário “antes” e para o cenário “depois”, sendo este último dividido em quatro soluções possíveis, onde foram adotados como comprimentos de *setback* os valores de 15 m, 20 m, 30 m e 40 m. A Figura 5.3 ilustra

com maior detalhe os dois cruzamentos referidos anteriormente, com indicação do local onde se adotaram os valores referidos.

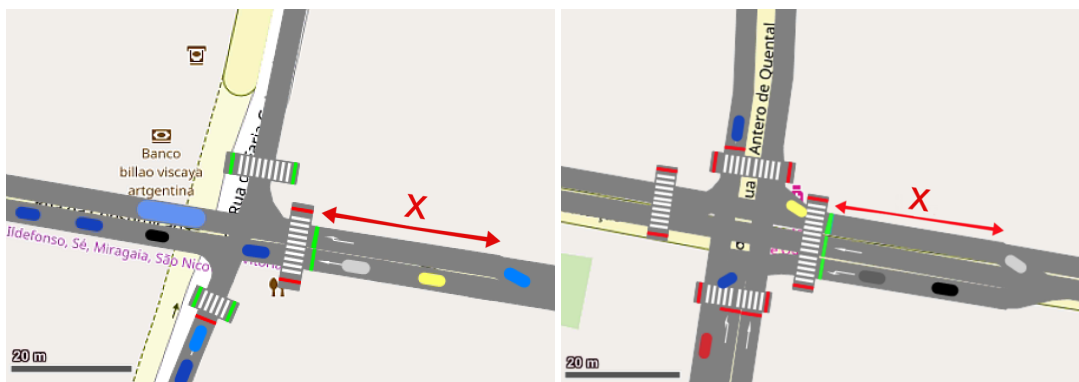


Figura 5.3 – Identificação do comprimento do *setback* em ambos os cruzamentos (solução geral)

### 5.3. ANÁLISE DE RESULTADOS

Uma vez definidos todos os cenários que serão sujeitos a análise foi possível prosseguir com as respectivas simulações no programa *PTV Vissim*. Foi realizada uma comparação de resultados baseada nos dados obtidos tendo em vista a comparação dos indicadores de desempenho selecionados.

Assim, a análise irá centrar-se nos indicadores de desempenho referentes aos veículos presentes em toda a rede e, de seguida, foi realizado um estudo mais pormenorizado tendo em conta apenas a via onde será implementado o novo corredor BUS, sendo esta uma informação auxiliar que ajudará na decisão pela melhor solução.

#### 5.3.1. ANÁLISE GLOBAL DA ÁREA EM ESTUDO

Os resultados estão apresentados por períodos de 15 minutos, num total de 90 minutos (1h30) correspondentes às horas de ponta da manhã e da tarde, e podem ser consultados nos Anexos A.2 e A.3, respetivamente. Primeiramente são representados os resultados provenientes da simulação da situação atual (S.A.), seguindo-se os resultados referentes aos quatro cenários da situação “depois”, para os diferentes comprimentos de *setback* (15 m, 20 m, 30 m e 40 m).

Nas Tabela 5.1 e Tabela 5.2 apresentam-se os valores médios dos resultados obtidos nas simulações referidas anteriormente. Os dados apresentados permitem comparar o desempenho de todos os veículos que circulam na rede, dando uma ideia geral dos ganhos e/ou perdas obtidos.

No caso dos atrasos médios, medidos em segundos (s), uma percentagem positiva revela uma perda de capacidade e uma percentagem negativa um ganho da mesma. Por outro lado, nas velocidades médias, expressas em quilómetros por hora (km/h), uma percentagem positiva revela um ganho e uma percentagem negativa uma perda.

Para uma melhor compreensão dos valores apresentados podem-se consultar os gráficos presentes no seguimento de cada tabela, sendo o primeiro referente ao atraso médio e o segundo à velocidade média (Figura 5.4, Figura 5.5, Figura 5.6 e Figura 5.7).

Tabela 5.1 – Quadro comparativo dos cenários “antes” e “depois” para a hora de ponta da manhã (08h30 – 10h00)

	S.A. - 15 m	S.A. - 20 m	S.A. - 30 m	S.A. - 40 m
<b>Atraso médio (s)</b>	65,16%	58,75%	57,30%	39,35%
<b>Velocidade média (s)</b>	-8,47%	-6,96%	-5,65%	-4,54%

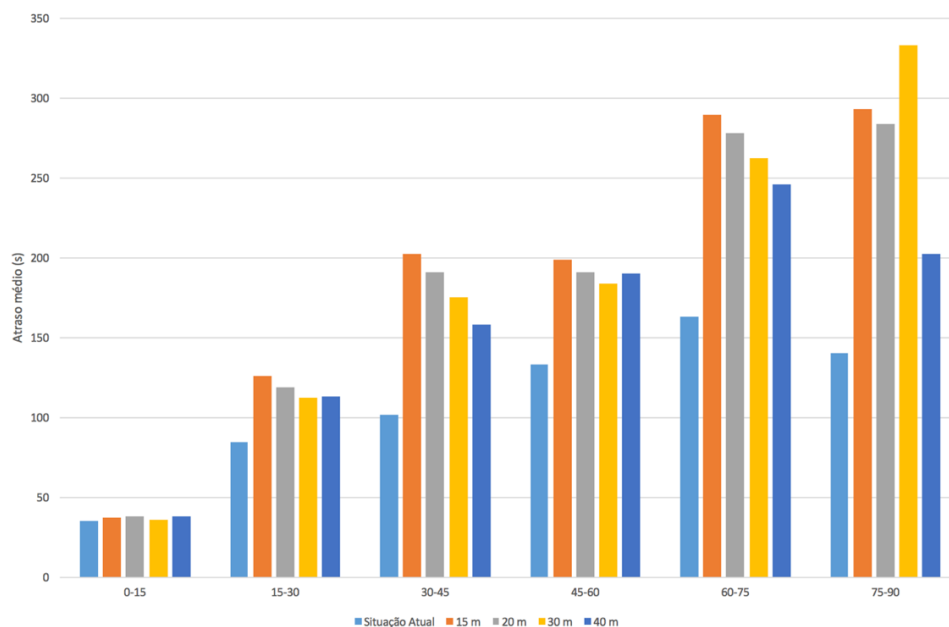


Figura 5.4 – Gráfico representativo dos atrasos médios (s) para cada cenário na hora de ponta da manhã (08h30 – 10h00)

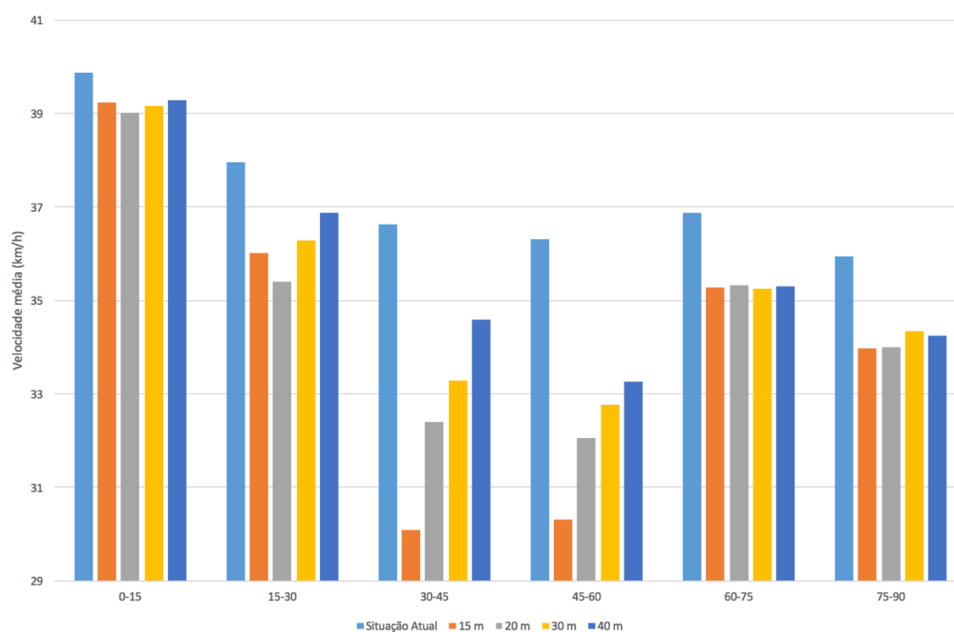


Figura 5.5 – Gráfico representativo das velocidades médias (km/h) para cada cenário na hora de ponta da manhã (08h30 – 10h00)

Tabela 5.2 – Quadro comparativo dos cenários “antes” e “depois” para a hora de ponta da tarde (18h30 – 20h00)

	S.A. - 15 m	S.A. - 20 m	S.A. - 30 m	S.A. - 40 m
<b>Atraso médio (s)</b>	67,36%	55,74%	51,16%	40,39%
<b>Velocidade média (s)</b>	-8,17%	-6,12%	-5,15%	-4,18%

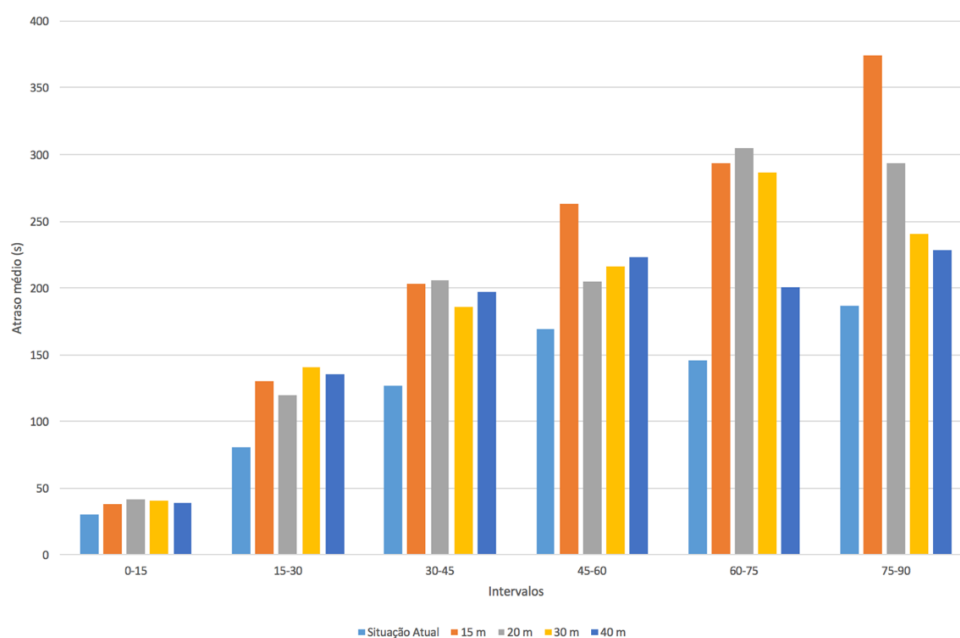


Figura 5.6 – Gráfico representativo dos atrasos médios (s) para cada cenário na hora de ponta da tarde (18h30 – 20h00)

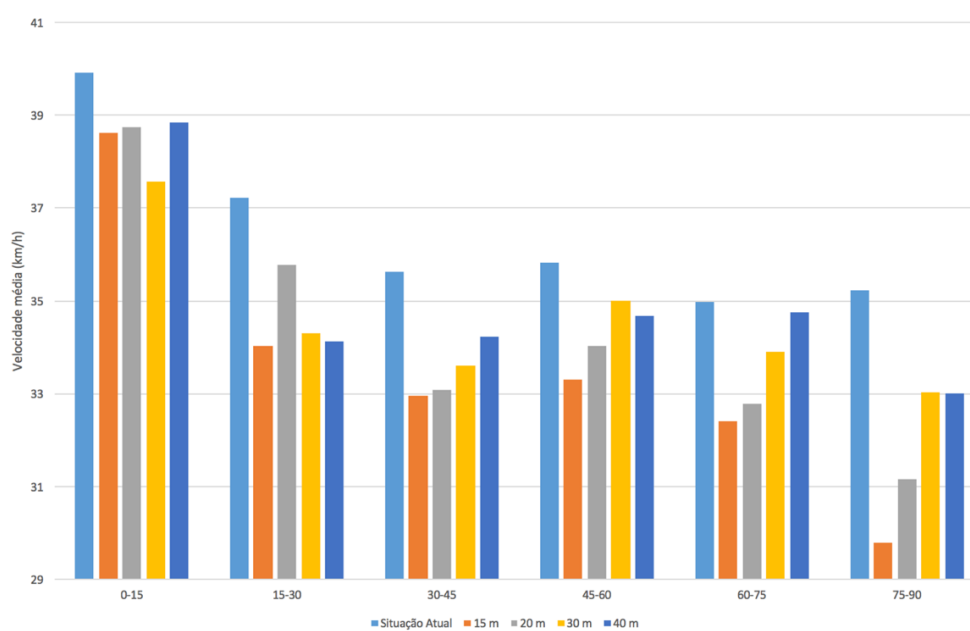


Figura 5.7 – Gráfico representativo das velocidades médias (km/h) para cada cenário na hora de ponta da tarde (18h30 – 20h00)

Os resultados referentes ao atraso médio (s) e velocidade média (km/h) para a hora de ponta da manhã e da tarde são, como esperado, bastante semelhantes possibilitando uma análise global para as horas de ponta. Comparando os resultados obtidos em cada cenário, podemos concluir que todos apontam para uma clara deterioração das condições operacionais da rede em estudo, caso se implemente a via BUS no trecho referido, como seria de esperar face à diminuição da capacidade. Contudo, alguns cenários indicam perdas maiores que outros. Numa primeira análise podemos concluir que as perdas de capacidade são tanto menores quanto maior o comprimento do *setback*, que resulta de uma diminuição da capacidade da via BUS, aumentando a capacidade de fluxo para o restante tráfego, em especial as viragens à direita.

Assim, o cenário que apresenta maior prejuízo para a rede é o que assume um *setback* de 15 m, havendo um aumento do atraso médio de 65,16% e 67,36%, respetivamente para as horas de ponta da manhã e da tarde. Em relação à velocidade média são registados decréscimos de -8,47% e -8,17% para cada hora de ponta.

Quanto à solução 2 o atraso médio regista um aumento de 58,75% e 55,74% e a velocidade média uma diminuição de -6,96% e -6,12%, para a hora de ponta da manhã e da tarde, respetivamente.

Na solução 3, onde foi adotado um *setback* de 30 m, as perdas de capacidade são menores, havendo um aumento de 57,30% e 51,16% para o atraso médio e um decréscimo de -5,65% e -5,15% na velocidade média.

Por sua vez, como já foi referido o que conduz aos melhores resultados é o cenário em que foi adotado um *setback* de 40 metros (solução 4). De facto, foram registados aumentos no atraso médio de 39,35% e 40,39% e diminuições da velocidade média de -4,54% e -4,18%, respetivamente para a hora de ponta da manhã e da tarde. Estes valores revelam-se bastante mais apelativos quando comparados com os resultados obtidos no cenário de *setback* igual a 15 m, diminuindo o atraso médio em cerca de 25% e aumentando a velocidade média em, aproximadamente, 4%.

De seguida são apresentadas comparações dos valores do atraso médio, em segundos, para cada linha de autocarros que circula na rede, nas Tabela 5.3 e

Tabela 5.4 estando, mais uma vez, salientadas a negrito as linhas que circulam pela via BUS proposta. Nos Anexos A.2 e A.3 podem-se consultar as tabelas com mais detalhe, estando esses dados refletidos nas Figura 5.8 e Figura 5.9, respetivamente para a hora de ponta da manhã e da tarde.

Tabela 5.3 – Quadro comparativo dos atrasos médios nos cenários “antes”/“depois” de cada linha de autocarro para a hora de ponta da manhã (08h30 – 10h00)

Linha	S.A. - 15 m	S.A. - 20 m	S.A. - 30 m	S.A. - 40 m
<b>1</b>	<b>-18,18%</b>	<b>-26,36%</b>	<b>-19,97%</b>	<b>-24,00%</b>
2	-26,22%	-14,10%	-12,84%	-21,11%
<b>3</b>	<b>-17,72%</b>	<b>-23,82%</b>	<b>-24,63%</b>	<b>-36,09%</b>
4	14,49%	12,13%	22,84%	3,73%
5	21,22%	18,93%	24,36%	17,98%
<b>6</b>	<b>-3,60%</b>	<b>17,18%</b>	<b>6,02%</b>	<b>15,05%</b>



7	40,48%	46,16%	32,63%	21,80%
8	13,10%	-16,04%	-20,30%	-21,16%
9	-13,37%	-4,02%	-4,81%	-20,85%
<b>10</b>	<b>-27,11%</b>	<b>-29,36%</b>	<b>-21,38%</b>	<b>-28,00%</b>
11	21,22%	18,49%	27,51%	24,61%
12	-4,92%	10,78%	1,65%	-19,86%
13	8,09%	32,78%	25,01%	28,84%
14	5,28%	4,83%	14,75%	5,51%
15	0,68%	37,72%	31,86%	21,48%
16	-7,97%	-11,71%	6,42%	-5,47%
<b>17</b>	<b>-35,63%</b>	<b>-34,33%</b>	<b>-38,23%</b>	<b>-42,13%</b>

Tabela 5.4 – Quadro síntese comparativo dos atrasos médios nos cenários “antes”/”depois” de cada linha de autocarro para a hora de ponta da tarde (18h30 – 20h00)

Linha	S.A. - 15 m	S.A. - 20 m	S.A. - 30 m	S.A. - 40 m
<b>1</b>	<b>-42,68%</b>	<b>-41,38%</b>	<b>-39,32%</b>	<b>-36,74%</b>
2	19,30%	-26,04%	-8,89%	-30,23%
<b>3</b>	<b>-9,05%</b>	<b>-8,02%</b>	<b>-21,46%</b>	<b>-20,67%</b>
4	0,26%	-3,93%	2,71%	-1,87%
5	15,55%	22,00%	4,90%	13,84%
<b>6</b>	<b>-8,10%</b>	<b>-4,16%</b>	<b>-18,32%</b>	<b>-15,32%</b>
7	4,00%	11,00%	-12,18%	-2,26%
8	79,25%	57,36%	16,08%	34,43%
9	0,00%	-2,12%	-10,65%	-15,39%
<b>10</b>	<b>-26,82%</b>	<b>-13,78%</b>	<b>-18,31%</b>	<b>-17,63%</b>
11	60,42%	30,52%	31,64%	45,42%
12	-6,84%	0,47%	6,85%	-14,26%
13	7,44%	1,89%	7,61%	-12,49%

14	20,92%	1,39%	5,79%	1,35%
15	4,15%	-1,43%	2,87%	-9,76%
16	6,56%	0,00%	-13,77%	-11,54%
<b>17</b>	<b>-14,80%</b>	<b>-4,84%</b>	<b>-9,15%</b>	<b>-16,97%</b>

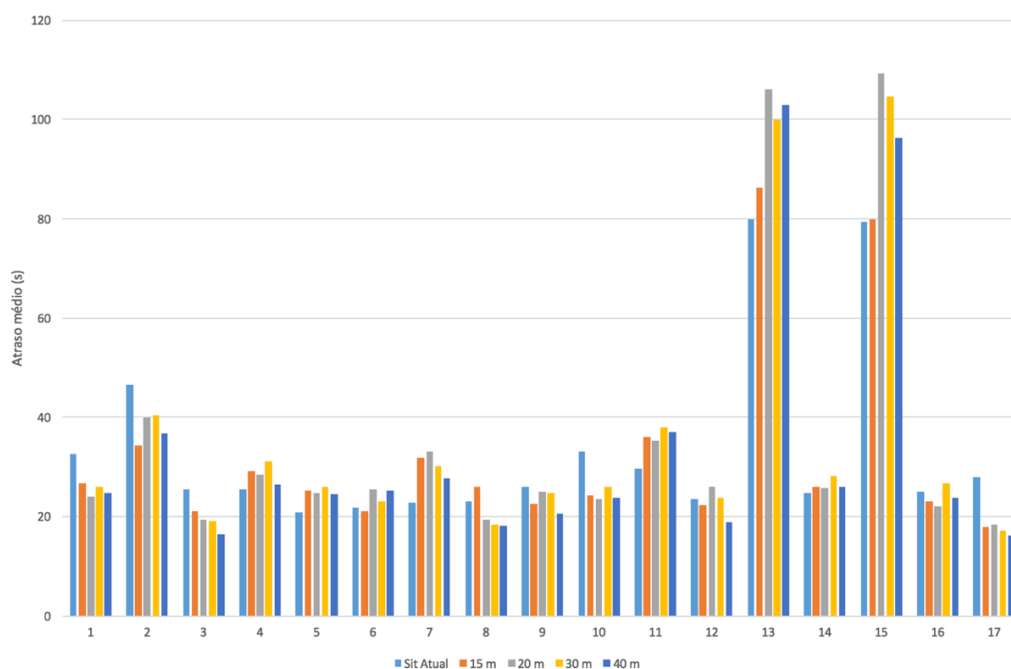


Figura 5.8 – Gráfico representativo dos atrasos médios (s) por linha para cada cenário na hora de ponta da manhã (08h30 – 10h00)

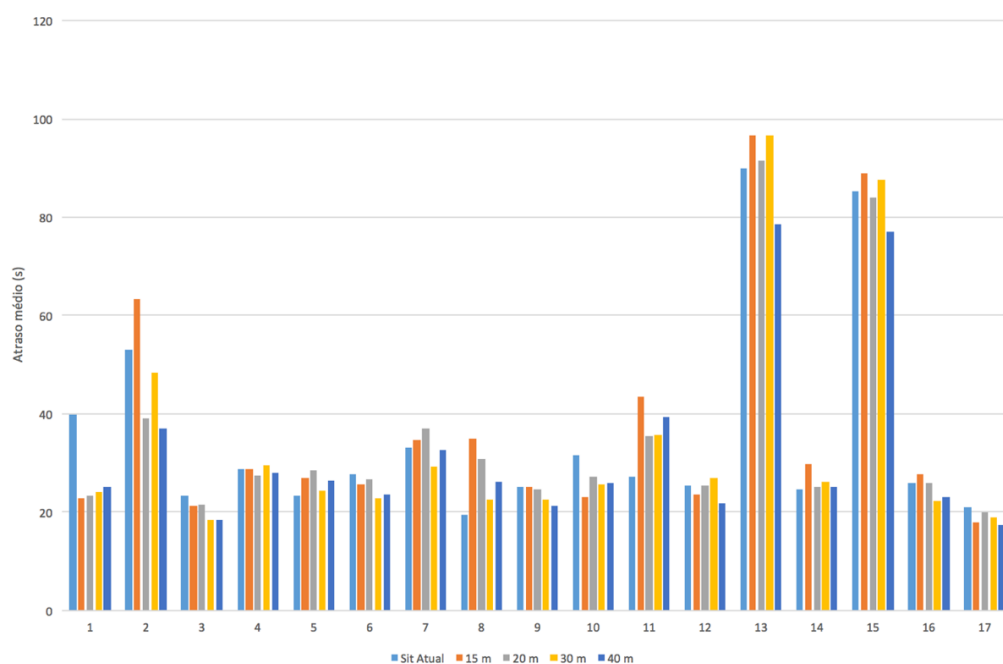


Figura 5.9 – Gráfico representativo dos atrasos médios (s) por linha para cada cenário na hora de ponta da tarde (18h30 – 20h00)

No que respeita à análise dos resultados referentes ao atraso médio sentido pelos autocarros, podemos notar que o comprimento do *setback* não influencia diretamente o valor do atraso médio. Se anteriormente o aumento deste comprimento representava melhorias para o tráfego automóvel, agora, analisando o impacto nos autocarros, isto não se reflete em todas as linhas apesar de implicar uma maior perda de capacidade da via BUS.

As linhas que circulam na via BUS proposta para a Rua da Constituição (linhas 1, 3, 6, 10 e 17) registam, de maneira geral, diminuições dos atrasos médios. Por outro lado, as linhas 13 e 15, provenientes da Rua de Costa Cabral, são claramente prejudicadas pela introdução da via BUS, uma vez que uma diminuição da capacidade da Rua da Constituição no troço em estudo resulta num maior congestionamento da via a montante, dificultando a entrada dos autocarros na interseção da Rua de Costa Cabral com a Praça do Marquês de Pombal.

Contudo, para a maioria das linhas observamos diminuições do atraso médio qualquer que seja o comprimento do *setback* adotado, o que demonstra que o objetivo principal desta dissertação foi atingido, isto é, regista-se, globalmente, uma melhoria das condições operacionais dos transportes públicos.

#### 5.3.2. ANÁLISE DO CORREDOR

Com o intuito de complementar os resultados obtidos anteriormente, foi necessária a obtenção de dados referentes apenas à Rua da Constituição, no troço onde se espera implementar a via BUS. Para tal, iremos analisar o tempo médio de percurso de cada veículo para o troço indicado na Figura 5.10.

No cenário correspondente à situação atual não é possível distinguir o tempo de percurso por tipo de veículo uma vez que o *software* apenas reconhece o ponto inicial e final de contagem, não diferenciando o tipo de veículo. Como nesse cenário os veículos e autocarros partilham as mesmas vias, o tempo médio de percurso engloba tanto os transportes públicos quanto o restante tráfego.

Nos cenários em que se introduz a via BUS, este valor já consegue ser obtido separadamente, havendo dois contadores, um na via BUS e outra na via mais à esquerda, onde só circula tráfego automóvel.

Assim, para o cenário que representa a situação atual o tempo médio de percurso será o mesmo para as diferentes análises.

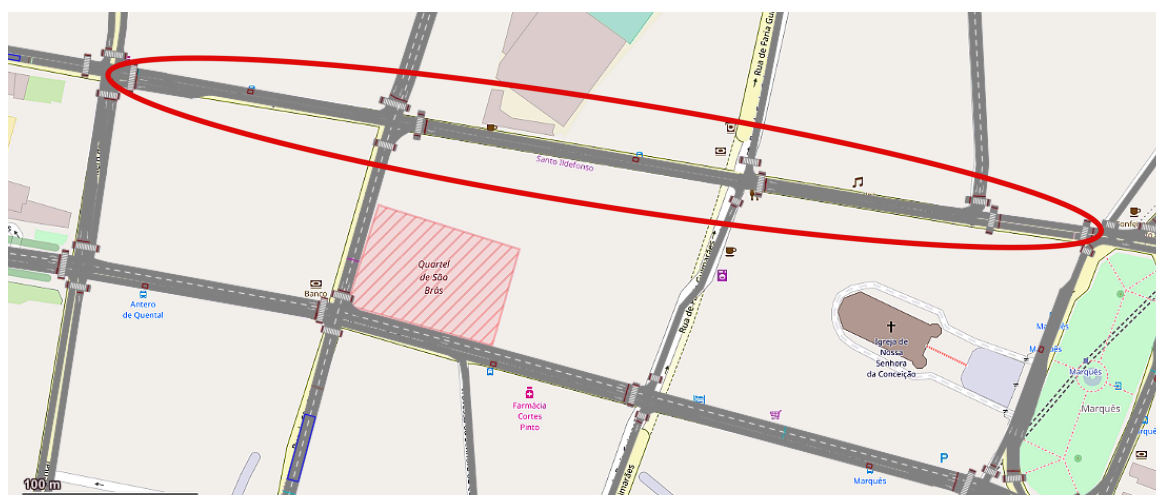


Figura 5.10 – Identificação do corredor em análise (PTV Vissim)

Tabela 5.5 – Quadro comparativo dos cenários “antes” e “depois” para a hora de ponta da manhã (08h30–10h00) – tráfego geral

	S.A. - 15 m	S.A. - 20 m	S.A. - 30 m	S.A. - 40 m
<b>Tempo médio de percurso (s)</b>	62,24%	58,24%	65,39%	41,33%

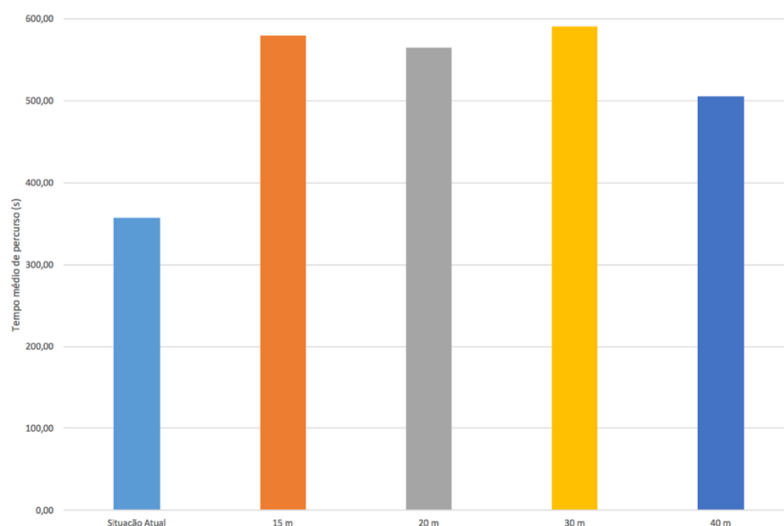


Figura 5.11 – Gráfico representativo do tempo médio de percurso (s) do corredor na hora de ponta da manhã (08h30 – 10h00) – tráfego geral

Tabela 5.6 – Quadro comparativo dos cenários “antes” e “depois” para a hora de ponta da tarde (18h30 – 20h00) – tráfego geral

	S.A. - 15 m	S.A. - 20 m	S.A. - 30 m	S.A. - 40 m
<b>Tempo médio de percurso (s)</b>	68,04%	54,53%	68,35%	45,75%

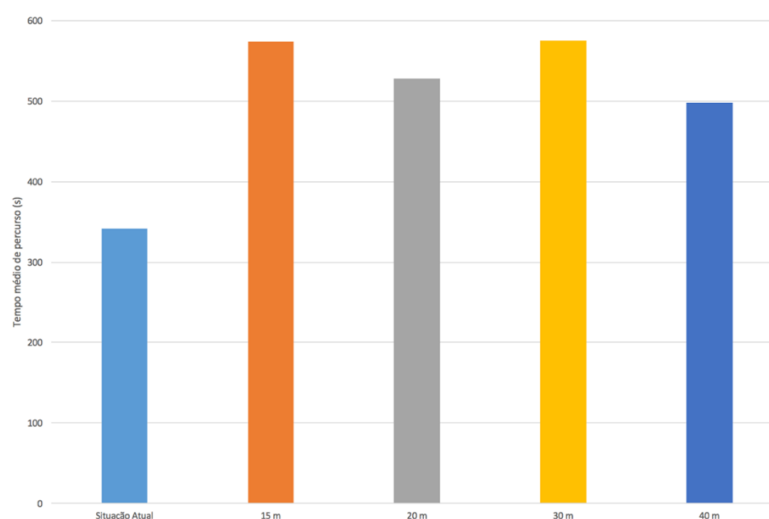


Figura 5.12 – Gráfico representativo do tempo médio de percurso (s) do corredor na hora de ponta da tarde (18h30 – 20h00) – tráfego geral

Os resultados obtidos revelam um significativo aumento do tempo médio de percurso, medido em segundos, resultante do maior congestionamento que se espera após a introdução da via BUS. Enquanto que na situação atual um veículo demora, em média, 357,14 s e 341,71 s (para a hora de ponta da manhã e da tarde, respetivamente), para a solução 1 estes valores sobem para 579,43 s e 574,21 s, sendo estes os piores resultados. Em relação às soluções 2 e 3, os valores obtidos foram de 565,13 s e 528,03 s para a solução 2 e de 590,68 s e 575,28 s para a solução 3. A solução que apresenta o menor prejuízo para o tráfego automóvel é, mais uma vez, a solução 4, em que se adotou como comprimento de *setback* o valor de 40 m, tendo sido obtido tempos médios de 504,74 s e 498,02 s. Todos estes valores podem ser consultados com detalhe nos Anexos A.2 e A.3.

A par desta análise, podemos também comparar o tempo médio de percurso para um autocarro nas mesmas condições acima referidas, estando essas comparações presentes na Tabela 5.7 e Tabela 5.8. Os resultados utilizados para a obtenção destas comparações podem ser consultados nos Anexos A.2 e A.3, e estão ilustrados na Figura 5.13 e Figura 5.14, para a hora de ponta da manhã e da tarde, respetivamente.

Tabela 5.7 – Quadro comparativo dos cenários “antes” e “depois” para a hora de ponta da manhã – transportes públicos (08h30 – 10h00)

	S.A. - 15 m	S.A. - 20 m	S.A. - 30 m	S.A. - 40 m
<b>Tempo médio de percurso (s)</b>	-24,02%	-20,48%	-15,53%	-11,16%

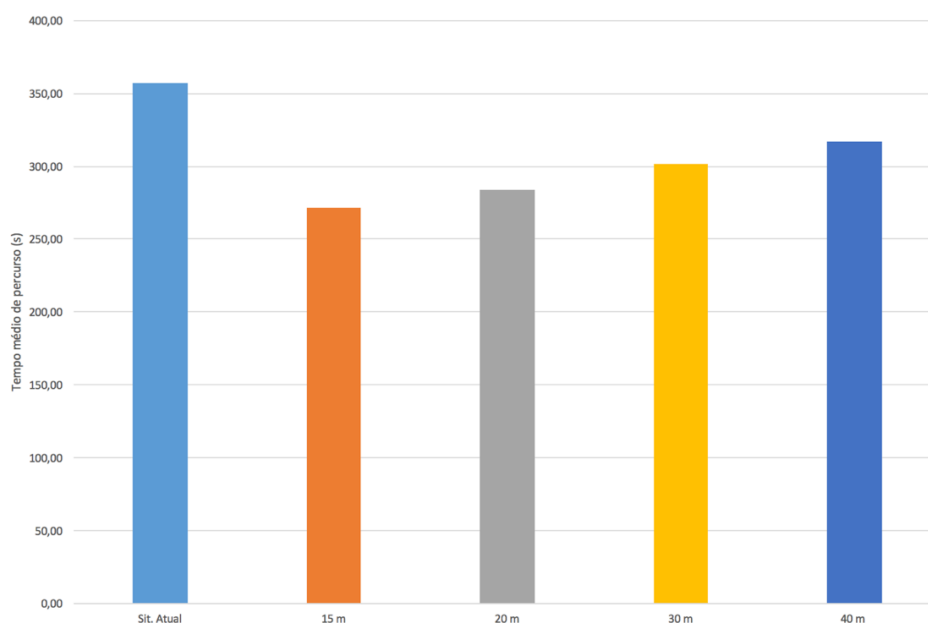


Figura 5.13 – Gráfico representativo do tempo médio de percurso (s) do corredor na hora de ponta da manhã – transportes públicos (08h30 – 10h00)

Tabela 5.8 – Quadro comparativo dos cenários “antes” e “depois” para a hora de ponta da tarde – transportes públicos (18h30 – 20h00)

	S.A. - 15 m	S.A. - 20 m	S.A. - 30 m	S.A. - 40 m
<b>Tempo médio de percurso (s)</b>	-23,63%	-19,53%	-14,94%	-10,22%

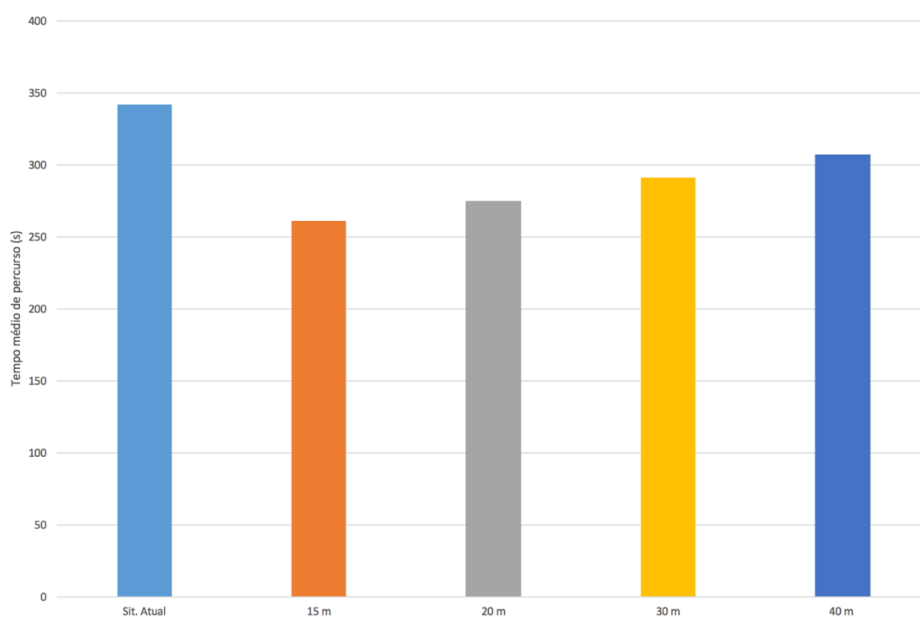


Figura 5.14 – Gráfico representativo do tempo médio de percurso (s) do corredor na hora de ponta da tarde – transportes públicos (18h30 – 20h00)

Como seria de esperar, regista-se uma diminuição no tempo médio de percurso após a introdução da via BUS, uma vez que estes passam a ter uma via para uso exclusivo. Contudo, esta diminuição torna-se cada vez menos expressiva à medida que o valor do comprimento do *setback* aumenta.

Na situação atual um autocarro demora, em média, 357,14 s e 341,71 s (para a hora de ponta da manhã e da tarde) a percorrer o corredor em estudo. Assim que se introduz a via BUS, com um *setback* igual a 15 m (solução 1), estes valores reduzem para 271,35 s e 260,96 s, sendo esta a solução mais favorável para os transportes públicos. Nas soluções 2 e 3 estes valores aumentam para 283,98 s e 274,96 s na solução 2 e para 301,67 s e 290,65 s na solução 3. Para o cenário em que se adota um *setback* igual a 40 m (solução 4), o tempo médio de percurso é de, respetivamente, 317,27 s e 306,78s, um aumento de cerca de 13% em relação à solução 1, mas mesmo assim favorecendo a circulação dos autocarros.

#### 5.4. SÍNTESE

Uma vez analisados todos os resultados obtidos através das simulações realizadas no programa *PTV Vissim*, conclui-se que, após a introdução da via BUS no troço em estudo da Rua da Constituição as condições operacionais da rede deterioram-se.

Após a análise global da rede verifica-se que apesar de este impacto ser mais notado ao nível do tráfego automóvel, algumas linhas de TP também são negativamente afetadas, especialmente aquelas que não circulam na via BUS proposta. O mesmo se verifica aquando da análise do corredor, em que todas as soluções apontam para aumentos no tempo médio de percurso.

Comparando as várias soluções propostas, a que leva a menores perdas é a solução em que se adotou o maior *setback*, com um comprimento de 40 metros nas duas interseções, pelo que esta deverá ser a solução adotada para a implementação no novo corredor.





# 6

## CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

### 6.1. APRECIÇÃO DO ESTUDO DESENVOLVIDO

O desenvolvimento desta dissertação focou-se na avaliação dos impactos decorrentes da introdução de uma via BUS em ambiente urbano. Para tal utilizou-se como caso de estudo a Rua da Constituição, no Porto, onde é expectável, segundo a Câmara Municipal do Porto, que se faça uma extensão da via BUS já existente.

Ao contrário da maioria dos estudos existentes nesta área, esta avaliação não se focou apenas na análise do corredor em questão, tendo sido realizada uma análise global da rede que permitiu quantificar os benefícios ou perdas operacionais que resultaram desta mudança estrutural da via e que se veio a revelar de extrema importância e relevância.

A metodologia base seguida ao longo desta dissertação teve como principal objetivo a comparação entre os cenários “antes” e “depois” da via BUS, através da delimitação da área de estudo, seguida da seleção do modelo de tráfego, desenvolvimento de cenários e posterior avaliação dos resultados, com vista na otimização das soluções propostas.

Posto isto, foi necessário caracterizar a rede atual quanto à geometria das vias, tráfego automóvel e de transporte público existente na rede viária e sinalização luminosa. Todos estes dados foram fundamentais para o posterior desenho da rede.

Por forma a obter resultados realistas, foi utilizado o software de microsimulação *PTV Vissim* que permitiu representar com exatidão todos os usuários da determinada rede.

Numa primeira análise global da rede, em que se estudou o atraso médio e a velocidade média de circulação, ficou provado que, para todas as soluções propostas, os impactos no tráfego automóvel seriam negativos. Adicionalmente, foram realizadas comparações dos atrasos médios obtidos para cada linha de transporte público, o que revelou que nem todas as carreiras seriam beneficiadas. Apenas as linhas que circulam na via BUS proposta registaram diminuições significativas do atraso médio, medido em segundos.

Com o intuito de complementar o estudo feito até então, foi realizada uma análise centrada apenas nos veículos que circulam na Rua da Constituição, no troço onde se idealizou a via BUS. Para tal, foi medido o tempo que cada veículo demorava a percorrer o corredor, por forma a obter valores médios para cada cenário. Sem surpresa, a comparação dos valores obtidos para cada cenário revelou um aumento considerável no tempo médio de percurso, também medido em segundos, realçando, mais uma vez, os impactos negativos para o tráfego automóvel decorrentes da alteração proposta. Contudo,

a mesma análise aplicada aos autocarros revelou uma diminuição no tempo médio de percurso em todas as soluções.

Assim, após uma detalhada análise dos dados resultantes das simulações, registaram-se benefícios operacionais do serviço de transporte público, o que pode ser visto com um incentivo ao transporte público. Caso se consiga uma maior utilização dos TP, no futuro os efeitos na rede poderão não ser tão expressivos. Contudo, o impacto negativo no tráfego automóvel é bastante significativo, não podendo ser menosprezado. De facto, a implementação de uma via BUS na Rua Constituição, no troço em estudo, não fica totalmente justificada se tivermos em conta apenas as condições operacionais da rede.

## **6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Por fim, é de salientar que a realização desta dissertação, através da informação reunida, pode vir a servir de suporte para um futuro projeto dentro dos parâmetros especificados, desde que se mantenham as características próprias adotadas ao longo deste trabalho.

Adicionalmente, uma vez que a presente avaliação demonstra que dificilmente os benefícios superarão as perdas ao nível das condições de operacionalidade, revela-se extremamente pertinente a realização de estudos complementares acerca dos possíveis impactos económicos e ambientais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrawal, Asha Weinstein, Todd Goldman, and Nancy Hannaford. "Shared-Use Bus Priority Lanes On City Streets: Case Studies in Design and Management, MTI Report 11-10." (2012).
- Algers, Staffan, et al. "Review of micro-simulation models." *Review Report of the SMARTEST project* (1997).
- Araújo, Davi R. Campos, et al. "Método de calibração de modelos de micro-simulação de tráfego através de otimização multivariada." *TRANSPORTES* 12.1 (2004).
- Bus Priority Systems*, CCMS Report no. 4. OTAN Committee on the Challenges of Modern Society. Department of the Environment, Transportation and Road Research Laboratory, Crowthorne (1976)
- Costa, A. "Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes-Transportes Públicos." *Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte* (2008).
- Delgado, Maria C., et al. "Dimensionamento de vias dedicadas ao transporte público rodoviário de passageiros – Relatório Final." Direção Geral de Transportes Terrestres e Fluviais (2005).
- Dowling, Richard, J. Holland, and A. Huang. "Guidelines for Applying Traffic Micro simulation Modeling Software, 2002." *Dowling Associates, Oakland* (2002).
- Fadaei, Masoud, and Oded Cats. "Evaluating the impacts and benefits of public transport design and operational measures." *Transport Policy* 48 (2016): 105-116.
- Fernandes T., Remédio A., and Correia G. "Micro-simulação de veículos e peões na avaliação do impacto da ocorrência de eventos de grande procura em meio urbano." (2011)
- Gregório, Bruno Miguel Gouveia Gomes. "Estudo e aplicação de vias exclusivas para transportes públicos." (2009).
- HMSO – Her Majesty's Stationery Office– Design Manual for Roads and Bridges, Volume 12, Section 2, Part 1 (1996).
- Hourdakis, John, Panos Michalopoulos, and Jiji Kottommannil. "Practical procedure for calibrating microscopic traffic simulation models." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1852 (2003): 130-139.
- Jepson, Dale, and Luis Ferreira. "Assessing travel time impacts of measures to enhance bus operations. Part I: Past Evidence and Study Methodology." *Road and Transport Research: a journal of Australian and New Zealand research and practice* 8.4 (1999): 41-54.
- KFH Group. "Transit capacity and quality of service manual." Chapter 6 Bus Transit Capacity (2013).
- Lunes, F., and L. Willumsen. "The computer-assisted design of with-flow bus lanes with BLISS." *Traffic engineering & control* 29.7/8 (1988).
- Neves, João Miguel Gomes Rodrigues Valente. "The impacts of bus lanes on urban traffic environment." (2006).
- Oldfield, R. H., P. H. Bly, and F. V. Webster. With-flow bus lanes: economic justification using a theoretical model. No. TRRL Lab. Rpt. 809. (1977).
- Park, Byungkyu, and Hongtu Qi. *Development and evaluation of a calibration and validation procedure for microscopic simulation models*. No. FHWA/VTRC 05-CR1 (2004).

Código da estrada: Regulamento do Código da estrada; Novo Regulamento de sinalização do trânsito: Decreto-lei no. 114/94, de 3 de maio alterado pelo Decreto-lei no. 2/98, de 3 de janeiro. Livraria da Universidade, Portugal (1999).

Sebenta de Circulação e Transportes 2, Secção de Vias de Comunicação do Departamento de Engenharia Civil, FEUP, Porto (2015).

Tavares, José Pedro– Modelos de Macro-Simulação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal (2016).

VicRoads. "Bus Priority Guidelines" (2003).

Waterson, B. J., B. Rajbhandari, and N. B. Hounsell. "Simulating the impacts of strong bus priority measures." *Journal of Transportation Engineering* 129.6 (2003): 642-647.

Webster, F. V., and P. H. Bly. Bus priority systems. No. CCMS 45. (1976).

#### Websites:

<http://www.expressandstar.com/news/2015/10/15/controversial-walsall-bus-lane-camera-catching-drivers-like-flies/> (Consultado em 10/10/2016)

[http://motoclubedoporto.pt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=93:todas-as-faixas-bus-do-porto-abertas-as-motos&catid=17&Itemid=149](http://motoclubedoporto.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=93:todas-as-faixas-bus-do-porto-abertas-as-motos&catid=17&Itemid=149) (Consultado em 19/10/2016)

<http://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/street-design-elements/transit-streets/> (Consultado em 07/11/2016)

<http://www.porto.pt/noticias/mais-corredores-bus-e-todos-com-motociclos> (Consultado em 23/11/2016)

<http://www.transportesemrevista.com/Default.aspx?tabid=210&language=pt-PT&id=4098> (Consultado em 26/01/2017)

## **ANEXOS**



## **A.1 FREQUÊNCIA DAS LINHAS STCP**

Linha	Sentido	HP Manhã				HP Tarde			
		Nº veículos	Início (s)	Rácio (s)	Fim (s)	Nº veículos	Início (s)	Rácio (s)	Fim (s)
203	Marquês - Castelo do Queijo	5	480	864	4800	4	900	900	4500
	Castelo do Queijo - Marquês	5	1080	864	5400	5	60	1044	5280
206	Campanhã - Viso	5	420	876	4800	5	120	816	4200
	Viso - Campanhã	5	420	984	5340	5	120	888	4560
302	Circular Aliados - Damião de Góis	8	0	653	5220	6	120	810	4980
303	Circular Praça da Liberdade - Constituição	8	360	630	5400	8	120	660	5400
304	Trindade - Santa Luzia	5	960	816	5040	5	420	912	4980
	Santa Luzia - Trindade	5	480	876	4860	6	60	790	4800
402	Boavista - São Roque	6	300	790	5040	7	240	694	5100
	São Roque - Boavista	7	480	617	4800	5	480	840	4680
600	Aliados - Maia (Barca)	9	180	540	5040	9	240	533	5040
	Maia (Barca) - Aliados	9	60	533	4860	8	420	608	5280
603	Marquês - Maia	3	0	1320	3960	3	300	1200	3900
701	Bolhão - Codiceira	4	1140	825	4440	7	360	583	4440
	Codiceira - Bolhão	8	0	615	4920	6	0	740	4440
702	Bolhão - Travagem	5	540	900	5040	7	60	711	5040
	Travagem - Bolhão	7	300	574	4320	6	300	820	5220
703	Cordoaria - Sonhos	3	1200	1200	4800	3	1200	1200	4800
	Sonhos - Cordoaria	3	1080	1200	4680	3	1080	1240	4800

	Horário	Segundos
HP Manhã	08h30 - 10h00	5400
HP Tarde	18h30 - 20h00	5400



## **A.2 RESULTADOS OBTIDOS PARA A HORA DE PONTA DA MANHÃ**

**A.2.1. QUADRO COMPARATIVO DOS ATRASOS E VELOCIDADES MÉDIAS DOS CENÁRIOS “ANTES” E “DEPOIS”**

		Intervalo (minutos)					
		0 – 15	15 – 30	30 – 45	45 – 60	60 – 75	75 – 90
Atraso Médio (s)	S.A.	34,68	84,68	101,78	133,24	163,08	139,94
	15 m	37,34	125,96	202,49	198,49	289,36	292,74
	20 m	37,63	118,64	190,85	190,77	278,27	283,48
	30 m	35,75	111,92	174,95	183,80	262,50	332,79
	40 m	38,01	112,87	158,21	190,00	245,62	202,28
	S.A. - 15 m	7,68%	48,74%	98,94%	48,97%	77,43%	109,18%
	S.A. - 20 m	8,50%	40,10%	87,51%	43,18%	70,63%	102,57%
	S.A. - 30 m	3,07%	32,16%	71,89%	37,94%	60,96%	137,80%
	S.A. - 40 m	9,59%	33,29%	55,44%	42,60%	50,61%	44,54%
Velocidade média (km/h)	S.A.	39,88	37,97	36,62	36,30	36,87	35,94
	15 m	39,24	36,01	30,10	30,31	35,28	33,97
	20 m	39,02	35,41	32,40	32,05	35,32	33,99
	30 m	39,16	36,30	33,29	32,78	35,25	34,33
	40 m	39,30	36,87	34,59	33,25	35,30	34,25
	S.A. - 15 m	-1,62%	-5,14%	-17,82%	-16,50%	-4,30%	-5,46%
	S.A. - 20 m	-2,18%	-6,74%	-11,53%	-11,71%	-4,20%	-5,42%
	S.A. - 30 m	-1,82%	-4,40%	-9,11%	-9,70%	-4,39%	-4,46%
	S.A. - 40 m	-1,47%	-2,88%	-5,55%	-8,40%	-4,27%	-4,70%

**A.2.2. QUADRO COMPARATIVO DOS ATRASOS MÉDIOS NOS CENÁRIOS “ANTES”/”DEPOIS” DE CADA LINHA DE AUTOCARRO**

Linha	Atraso médio (s)					Comparação			
	S.A.	15 m	20 m	30 m	40 m	S.A. -	S.A. -	S.A. -	S.A. -
						- 15 m	- 20 m	- 30 m	- 40 m
1	32,59	26,67	24,00	26,08	24,77	-18,18%	-26,36%	-19,97%	-24,00%
2	46,50	34,31	39,94	40,53	36,68	-26,22%	-14,10%	-12,84%	-21,11%
3	25,52	21,00	19,44	19,24	16,31	-17,72%	-23,82%	-24,63%	-36,09%
4	25,42	29,10	28,50	31,22	26,36	14,49%	12,13%	22,84%	3,73%
5	20,88	25,31	24,83	25,97	24,63	21,22%	18,93%	24,36%	17,98%
6	21,84	21,05	25,59	23,15	25,13	-3,60%	17,18%	6,02%	15,05%
7	22,71	31,91	33,20	30,13	27,67	40,48%	46,16%	32,63%	21,80%
8	23,06	26,08	19,36	18,38	18,18	13,10%	-16,04%	-20,30%	-21,16%
9	26,00	22,52	24,95	24,75	20,58	-13,37%	-4,02%	-4,81%	-20,85%
10	33,19	24,19	23,44	26,09	23,89	-27,11%	-29,36%	-21,38%	-28,00%
11	29,75	36,06	35,25	37,93	37,07	21,22%	18,49%	27,51%	24,61%
12	23,44	22,29	25,97	23,83	18,79	-4,92%	10,78%	1,65%	-19,86%
13	79,90	86,37	106,09	99,88	102,95	8,09%	32,78%	25,01%	28,84%
14	24,64	25,94	25,83	28,28	26,00	5,28%	4,83%	14,75%	5,51%
15	79,33	79,87	109,26	104,61	96,38	0,68%	37,72%	31,86%	21,48%
16	25,06	23,06	22,13	26,67	23,69	-7,97%	-11,71%	6,42%	-5,47%
17	27,96	18,00	18,36	17,27	16,18	-35,63%	-34,33%	-38,23%	-42,13%

**A.2.3. – QUADRO COMPARATIVO DO TEMPO MÉDIO DE PERCURSO NOS CENÁRIOS “ANTES”/”DEPOIS”**

Tempo médio de percurso para o tráfego automóvel no corredor (s)								
S.A.	15 m	20 m	30 m	40 m	S.A. - - 15 m	S.A. - - 20 m	S.A. - - 30 m	S.A. - - 40 m
357,14	579,43	565,13	590,68	504,74	62,24%	58,24%	65,39%	41,33%

**A.2.4. QUADRO COMPARATIVO DO TEMPO MÉDIO DE PERCURSO NOS CENÁRIOS “ANTES”/”DEPOIS” – TRANSPORTES PÚBLICOS**

Tempo médio de percurso para os TP no corredor (s)								
S.A.	15 m	20 m	30 m	40 m	S.A. - - 15 m	S.A. - - 20 m	S.A. - - 30 m	S.A. - - 40 m
357,14	271,35	283,98	301,67	317,27	-24,02%	-20,48%	-15,53%	-11,16%

### **A.3 RESULTADOS OBTIDOS PARA A HORA DE PONTA DA TARDE**

**A.3.1. QUADRO COMPARATIVO DOS ATRASOS E VELOCIDADES MÉDIAS DOS CENÁRIOS “ANTES” E “DEPOIS”**

		Intervalo (minutos)					
		0 – 15	15 – 30	30 – 45	45 – 60	60 – 75	75 – 90
Atraso Médio (s)	S.A.	30,38	80,97	126,74	169,67	145,51	186,80
	15 m	38,35	129,91	203,08	262,90	293,88	374,27
	20 m	41,74	119,43	205,83	204,85	304,53	293,60
	30 m	40,50	140,61	186,15	215,86	286,64	240,83
	40 m	38,85	135,85	196,98	222,71	200,51	228,25
	S.A. - 15 m	26,24%	60,44%	60,23%	54,95%	101,96%	100,36%
	S.A. - 20 m	37,37%	47,50%	62,40%	20,73%	109,28%	57,18%
	S.A. - 30 m	33,29%	73,66%	46,87%	27,22%	96,98%	28,93%
	S.A. - 40 m	27,87%	67,78%	55,42%	31,26%	37,80%	22,19%
Velocidade média (km/h)	S.A.	39,92	37,21	35,62	35,82	34,97	35,23
	15 m	38,61	34,02	32,97	33,31	32,41	29,80
	20 m	38,73	35,77	33,09	34,04	32,79	31,16
	30 m	37,57	34,31	33,61	35,00	33,89	33,04
	40 m	38,83	34,12	34,22	34,67	34,76	33,00
	S.A. - 15 m	-3,27%	-8,57%	-7,45%	-7,01%	-7,31%	-15,42%
	S.A. - 20 m	-2,97%	-3,87%	-7,12%	-4,96%	-6,23%	-11,57%
	S.A. - 30 m	-5,89%	-7,80%	-5,65%	-2,27%	-3,08%	-6,22%
	S.A. - 40 m	-2,72%	-8,31%	-3,93%	-3,19%	-0,59%	-6,34%

**A.3.2. QUADRO COMPARATIVO DOS ATRASOS MÉDIOS NOS CENÁRIOS “ANTES”/”DEPOIS” DE CADA LINHA DE AUTOCARRO**

Linha	Atraso médio (s)					Comparação			
	S.A.	15 m	20 m	30 m	40 m	S.A. -	S.A. -	S.A. -	S.A. -
						- 15 m	- 20 m	- 30 m	- 40 m
<b>1</b>	39,81	22,82	23,33	24,15	25,18	<b>-42,68%</b>	<b>-41,38%</b>	<b>-39,32%</b>	<b>-36,74%</b>
<b>2</b>	53,00	63,23	39,20	48,29	36,98	<b>19,30%</b>	<b>-26,04%</b>	<b>-8,89%</b>	<b>-30,23%</b>
<b>3</b>	23,32	21,21	21,45	18,32	18,50	<b>-9,05%</b>	<b>-8,02%</b>	<b>-21,46%</b>	<b>-20,67%</b>
<b>4</b>	28,63	28,70	27,50	29,40	28,09	<b>0,26%</b>	<b>-3,93%</b>	<b>2,71%</b>	<b>-1,87%</b>
<b>5</b>	23,28	26,90	28,40	24,42	26,50	<b>15,55%</b>	<b>22,00%</b>	<b>4,90%</b>	<b>13,84%</b>
<b>6</b>	27,80	25,55	26,64	22,70	23,54	<b>-8,10%</b>	<b>-4,16%</b>	<b>-18,32%</b>	<b>-15,32%</b>
<b>7</b>	33,25	34,58	36,91	29,20	32,50	<b>4,00%</b>	<b>11,00%</b>	<b>-12,18%</b>	<b>-2,26%</b>
<b>8</b>	19,53	35,00	30,73	22,67	26,25	<b>79,25%</b>	<b>57,36%</b>	<b>16,08%</b>	<b>34,43%</b>
<b>9</b>	25,26	25,26	24,73	22,57	21,38	<b>0,00%</b>	<b>-2,12%</b>	<b>-10,65%</b>	<b>-15,39%</b>
<b>10</b>	31,51	23,06	27,17	25,74	25,95	<b>-26,82%</b>	<b>-13,78%</b>	<b>-18,31%</b>	<b>-17,63%</b>
<b>11</b>	27,08	43,45	35,35	35,65	39,38	<b>60,42%</b>	<b>30,52%</b>	<b>31,64%</b>	<b>45,42%</b>
<b>12</b>	25,27	23,54	25,39	27,00	21,67	<b>-6,84%</b>	<b>0,47%</b>	<b>6,85%</b>	<b>-14,26%</b>
<b>13</b>	89,87	96,56	91,57	96,71	78,64	<b>7,44%</b>	<b>1,89%</b>	<b>7,61%</b>	<b>-12,49%</b>
<b>14</b>	24,72	29,89	25,06	26,15	25,05	<b>20,92%</b>	<b>1,39%</b>	<b>5,79%</b>	<b>1,35%</b>
<b>15</b>	85,26	88,80	84,04	87,71	76,94	<b>4,15%</b>	<b>-1,43%</b>	<b>2,87%</b>	<b>-9,76%</b>
<b>16</b>	26,00	27,71	26,00	22,42	23,00	<b>6,56%</b>	<b>0,00%</b>	<b>-13,77%</b>	<b>-11,54%</b>
<b>17</b>	20,91	17,82	19,90	19,00	17,36	<b>-14,80%</b>	<b>-4,84%</b>	<b>-9,15%</b>	<b>-16,97%</b>

**A.3.3. – QUADRO COMPARATIVO DO TEMPO MÉDIO DE PERCURSO NOS CENÁRIOS “ANTES”/”DEPOIS”**

Tempo médio de percurso para o tráfego automóvel no corredor (s)								
S.A.	15 m	20 m	30 m	40 m	S.A. - - 15 m	S.A. - - 20 m	S.A. - - 30 m	S.A. - - 40 m
341,71	574,21	528,03	575,28	498,02	68,04%	54,53%	68,35%	45,75%

**A.3.4. QUADRO COMPARATIVO DO TEMPO MÉDIO DE PERCURSO NOS CENÁRIOS “ANTES”/”DEPOIS” – TRANSPORTES PÚBLICOS**

Tempo médio de percurso para os TP no corredor (s)								
S.A.	15 m	20 m	30 m	40 m	S.A. - - 15 m	S.A. - - 20 m	S.A. - - 30 m	S.A. - - 40 m
341,71	260,96	274,96	290,65	306,78	-23,63%	-19,53%	-14,94%	-10,22%